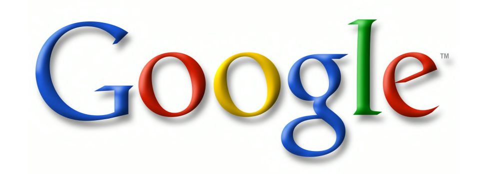
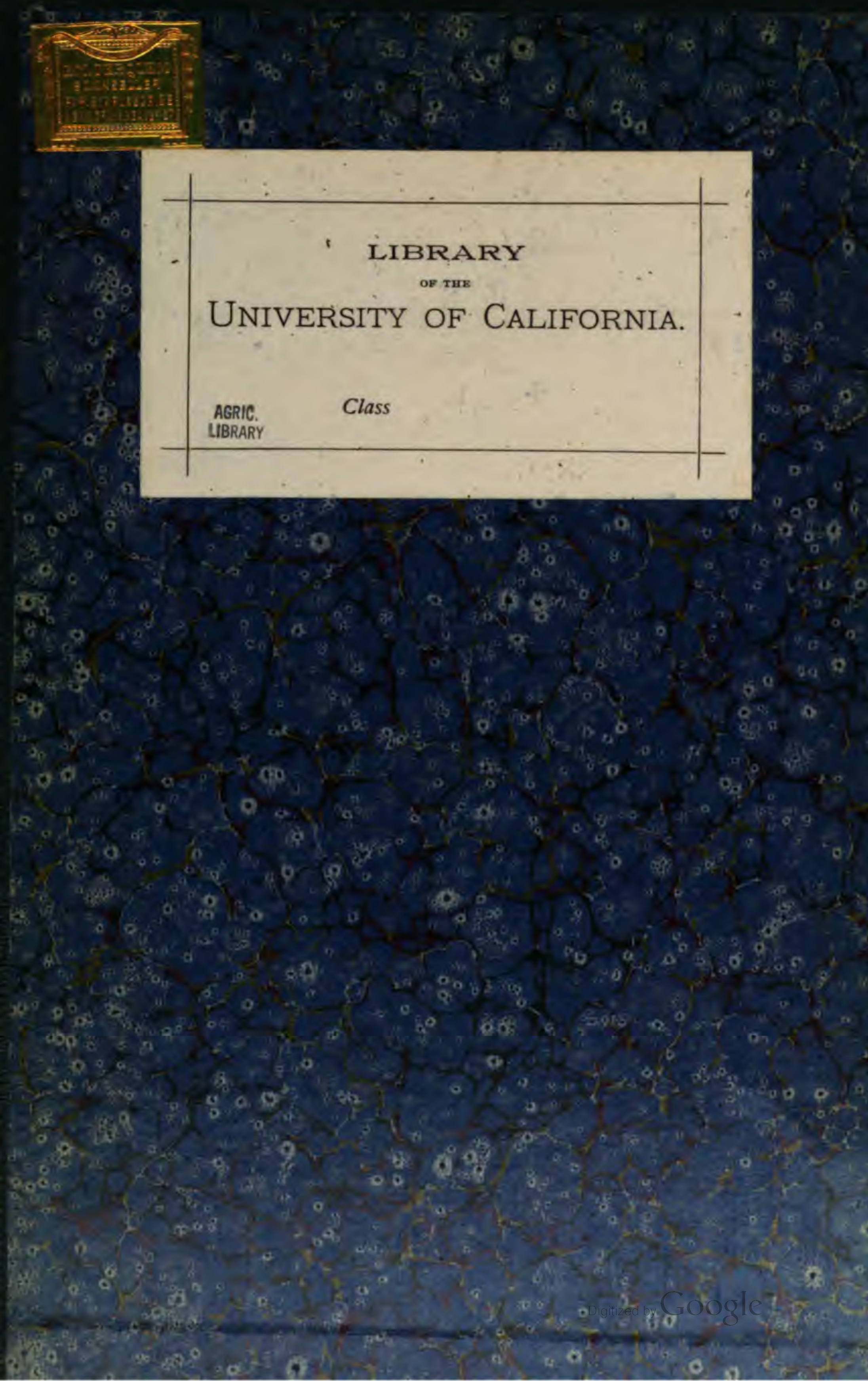



LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
AGRIC.
LIBRARY
Class
Digitized by Google



ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

Comité de rédaction des Annales.

Correspondants des Annales pour les colonies et l'étranger.

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié, s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales (*chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.*).

Tout ce qui concerne la rédaction des Annales de la Science agronomique française et étrangère (*manuscrits, épreuves, correspondance, etc.*) *devra être adressé* franco *à M.* **L. Grandeau**, *rédacteur en chef, 48, rue de Lille, à Paris*.

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture

PAR

LOUIS GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE DE FRANCE
RÉDACTEUR EN CHEF DU « JOURNAL D'AGRICULTURE PRATIQUE »
PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES STATIONS AGRONOMIQUES
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE

2e SÉRIE — DIXIÈME ANNÉE — 1905

Tome I

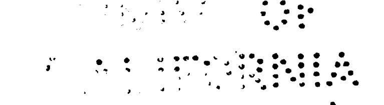
Avec figures dans le texte, planche et plan hors texte

BERGER-LEVRAULT ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

PARIS
5, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY
18, RUE DES GLACIS

1905



TOURTEAUX

DE

GRAINES OLÉAGINEUSES

ORIGINE — COMPOSITION — UTILISATION

CARACTÈRES MACROSCOPIQUES ET MICROSCOPIQUES — DIAGNOSE

PAR MM.

LÉON BUSSARD
INGÉNIEUR-AGRONOME
SOUS-DIRECTEUR DE LA STATION D'ESSAIS DE SEMENCES
DE L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

GEORGES FRON
INGÉNIEUR-AGRONOME
DOCTEUR ÈS SCIENCES, CHEF DES TRAVAUX DE BOTANIQUE
A L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

(*Suite.*)

Ce mémoire clôt notre étude sur les *Tourteaux de graines oléagineuses*, dont les deux premières parties ont paru dans le tome II, 1901, des *Annales de la Science agronomique*.

Il traite des espèces appartenant aux familles des *Composées*, des *Sapotacées*, des *Méliacées*, des *Graminées*, des *Ampélidées*, des *Cupulifères*, des *Amygdalées*, des *Oléacées*, et des tourteaux rares obtenus par le traitement de diverses graines.

Arrivés au terme de ce travail, il nous est particulièrement agréable de renouveler nos remerciements à toutes les personnes dont l'obligeant concours nous a permis de réunir les échantillons et les renseignements nécessaires pour le mener à bien. A la liste de celles que nous avons mentionnées antérieurement, nous ajouterons les

noms de MM. Heckel, directeur du Musée colonial de Marseille; Dybowski, inspecteur général de l'agriculture coloniale, à Nogent-sur-Marne; Poisson, aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle; Fagot, ingénieur-agronome, sénateur des Ardennes; F. Malet, ingénieur-agronome, à la direction de l'agriculture de Tunis; Nakapetian, de la maison Avédoff (Caucase). Nous leur exprimons notre gratitude pour les éléments d'étude que nous devons à leur bienveillance.

COMPOSÉES

TOURNESOL

Le *grand soleil* ou *tournesol* (*Helianthus annuus* L.) est une plante annuelle à grand développement, très répandue chez nous dans les jardins, où on la cultive pour l'ornementation. Elle tient quelque place parmi les espèces oléagineuses, en Espagne et en Portugal, dans le sud de l'Allemagne, en Italie, en Hongrie, en Turquie, en Tunisie, en Amérique, aux Indes, mais, nulle part, son importance n'est aussi considérable qu'en Russie; sa culture y occupe de vastes surfaces dans le nord des provinces caucasiennes et dans la région comprise entre le Dniéper et le Volga; elle s'étend même jusque dans les gouvernements septentrionaux de Vologda, Perm et Viatka.

Les larges capitules du tournesol sont garnis de fleurons jaunes, auxquels succèdent des fruits (*achaines*) fort nombreux, serrés les uns contre les autres et disposés en cercles concentriques sur toute la surface du réceptacle. Les oiseaux sont très friands de ces semences, que l'homme mange aussi volontiers; en Russie, les classes populaires en consomment de grandes quantités, comme on fait de l'arachide en d'autres régions. Elles renferment, à l'état brut, de 20 à 30 p. 100 d'huile, mais on n'en extrait, par pression, que de 15 à 20 p. 100. Leur enveloppe représentant du tiers à la moitié de leur poids total, la proportion de matière grasse s'élève jusqu'à 40 et 50 p. 100 dans la graine décortiquée.

L'huile de tournesol est limpide, jaune clair, presque sans odeur, d'une saveur douce et agréable ; dans les régions de production, on l'apprécie beaucoup pour la table ; elle sert aussi pour la préparation des conserves de poissons. Celle de qualité inférieur trouve son emploi dans l'éclairage, la fabrication des savons et des vernis.

Les tourteaux de tournesol se présentent sous deux formes : bruts ou décortiqués. Les premiers sont ceux que l'on rencontre le plus communément chez nous ; on les importe généralement de Russie, quelquefois de Hongrie. Tout récemment, cette importation, jusqu'alors très restreinte, semble avoir pris quelque importance. Les tourteaux décortiqués, fabriqués en moindre quantité, viennent rarement en France ; ce sont d'excellents aliments pour le bétail, que les animaux de la ferme acceptent volontiers.

« Le tourteau de tournesol décortiqué, dit d'Hont [1], est surtout recherché par les éleveurs des pays du Nord, du Danemark et de la Suède, qui lui attribuent la propriété de communiquer un goût très fin de noisette au beurre obtenu du lait des vaches qui le consomment. »

M. Mallèvre [2] a signalé, d'autre part, des expériences faites en Danemark, où l'emploi de ce tourteau se répand de plus en plus. Ces expériences ont montré que le tourteau de tournesol, donné à la place d'une même quantité de graines de céréales (mélange d'avoine et d'orge à poids égal), augmente le rendement en lait et aussi en beurre, bien que la teneur du lait en matière grasse ne soit pas influencée par cette substitution. Dans d'autres essais, institués par Frijs, on a reconnu que le tourteau de tournesol donne un beurre supérieur à celui obtenu avec les graines de céréales.

Plus riche en matières ligneuses et, par conséquent, de moindre valeur, le tourteau brut peut cependant être avantageusement introduit dans les rations.

---

1. D'Hont, *Contribution à l'étude des tourteaux et farines alimentaires pour le bétail.*

2. C. R. du 2e Congrès de la Société d'alimentation rationnelle du bétail, Paris, 1898.



Voici la composition chimique de tourteaux de tournesol de diverses provenances :

	TOURTEAUX bruts		TOURTEAUX incomplètement décortiqués		TOURTEAUX décortiqués	
	de Russie (von Knieriem).	(Décugis).	d'Allemagne (Böhmer).	de Hongrie (Windisch).	(von Gohren).	(Wolff).
	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100
Eau	9,5	11,90	9,15	5,11	10,0	10,3
Matières grasses	9,5	10,45	12,65	16,77	12,2	8,4
Matières azotées	30,7	20,44	36,82	35,62	34,2	37,3
Extractifs non azotés	25,8	31,37	22,40	24,08	22,1	26,0
Cellulose	19,4	20,00	12,56	12,69	10,9	9,9
Cendres	5,1	5,84	6,42	6,84	10,6	8,1

La richesse en éléments fertilisants du tourteau de tournesol est assez élevée : avec 5 p. 100 d'azote en moyenne, il dose environ 1,5 d'acide phosphorique.

Ce tourteau rancit facilement.

Caractères du fruit.

a) **Examen macroscopique.** — Le fruit ou achaine de l'*Helianthus annuus* (*fig. I — 1-2*) est oblong, subtétragone, comprimé en forme de coin. La cicatrice du hile apparaît à l'extrémité inférieure la moins élargie. Ses dimensions, très variables, se trouvent généralement comprises, dans les variétés cultivées, entre les limites suivantes : longueur, 10 à 15 millimètres ; largeur, 5 à 8 millimètres ; épaisseur, 3 à 6 millimètres ; les semences de la plante sauvage, quelquefois utilisées pour les mêmes usages, dans les régions chaudes où le grand soleil croît spontanément, sont de moindre volume.

L'enveloppe (péricarpe), dont l'épaisseur atteint $0^{mm},5$ à $0^{mm},6$, est revêtue extérieurement d'une pellicule luisante, quelquefois uniformément noire ou, au contraire, d'un blanc grisâtre, le plus souvent marquée de bandes ou de stries longitudinales, alternativement grises et noirâtres ; elle recouvre une amande, dont le très mince tégument entoure un embryon à radicule infère, avec deux gros co-

tylédons plans-convexes, blanchâtres, gorgés d'huile. Cette amande offre une saveur douce, assez agréable.

Le poids de la coque représente de 35 à 55 p. 100 de celui du fruit. Ce dernier est très variable ; dans les échantillons que nous avons examinés, il oscillait entre 8 et 22 grammes le cent.

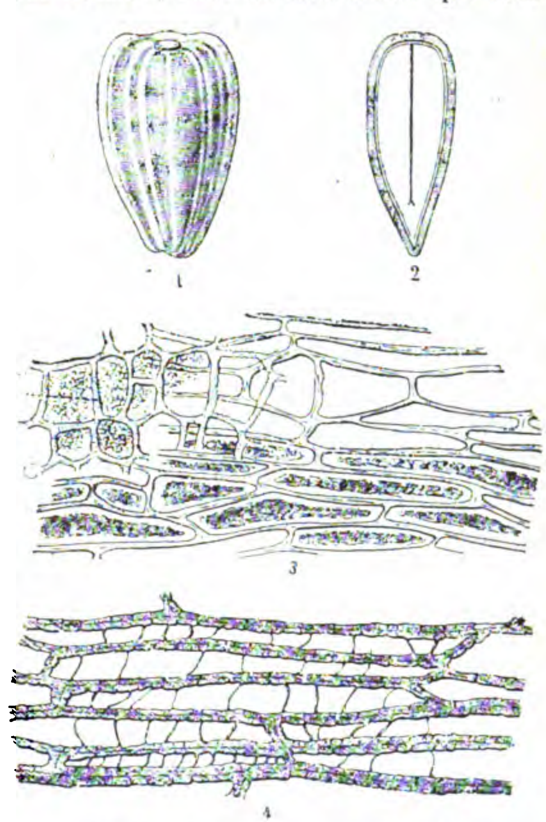


Fig. I. — Tournesol (*Helianthus annuus* L.).
1 et 2, Aspect général et section longitudinale du fruit. — 3, Coupe tangentielle pratiquée dans la région externe du péricarpe (bande foncée). — 4, Coupe tangentielle de la région interne. — Gr. : 200 d.

b) **Examen microscopique.** — Deux zones très distinctes apparaissent sur une coupe transversale du tégument (*planche V, fig. 48-49*). L'une externe (*a*), de 70 à 80 µ d'épaisseur, est limitée en dehors par une assise assez régulière de cellules, dont quelques-unes se prolongent en poils et dont les membranes radiales sont légèrement épaissies à leur point de contact avec la membrane externe. Ce sont les cellules de cette zone qui, par leur contenu, donnent les bandes alternativement claires et foncées que l'on aperçoit sur la surface du fruit, comme le montre une section tangentielle pratiquée en ce point (*fig. I-3*). Directement appliquée contre cette assise, se trouve une couche de cellules parenchymateuses, assez peu régulières comme dimensions, à membranes minces munies de ponctuations, très fines et nombreuses, qui donnent à l'ensemble de

cette zone une apparence toute spéciale. En section tangentielle, elles se présentent sous le même aspect que dans le sens transversal, étant à peu près rectangulaires.

La seconde zone (*b*), qui atteint, suivant les points, de 300 à 400 μ d'épaisseur, comprend des cellules scléreuses. Très fortement épaissies dans la zone externe, ces cellules le deviennent de moins en moins jusque dans la partie interne, parenchymateuse, où se trouvent situés des cordons vasculaires (*v*). Les cellules scléreuses sont allongées tangentiellement, dans le sens de la plus grande longueur du fruit; elles sont pressées les unes contre les autres, possèdent des canalicules nombreux dans les membranes et des cloisons disposées irrégulièrement dans l'intérieur de chacune d'elles (*fig. I-4*).

Le péricarpe est limité intérieurement par des cellules parenchymateuses, écrasées durant le développement de l'embryon.

Ces cellules sont rattachées à l'endocarpe et n'offrent pas de caractères distinctifs propres à la détermination qui nous occupe. Il en est de même du tégument de la graine, qui reste fixé sur l'amande lorsqu'on l'extrait du fruit, et de l'assise protéique qui lui fait suite.

Les cellules des cotylédons sont gorgées d'huile et riches en grains d'aleurone.

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique.** — Les tourteaux de tournesol se présentent sous deux formes différentes. Les uns sont des pains carrés ou circulaires, de 8 à 10 centimètres d'épaisseur, à texture serrée, mais cependant assez faciles à désagréger; leur coloration est brune ou jaunâtre; ils n'ont subi qu'une pression imparfaite et doivent à l'huile dont ils sont imprégnés un toucher onctueux. Les tourteaux hongrois et portugais que nous avons eus entre les mains offraient ces caractères.

Ceux de Russie, au contraire, affectent la forme de galettes carrées, d'un gris noirâtre, épaisses seulement de $1^{cm},5$ à 2 centimètres, sèches et très dures.

Ces tourteaux ont une cassure lamelleuse; on y distingue des dé-

bris de péricarpe assez volumineux, d'apparence pailleuse, enchâssés dans une pâte grise, homogène, formée des débris de l'amande. Leur saveur est douce.

b) **Examen microscopique.** — Les éléments de détermination sont fournis surtout par le péricarpe, dont on retrouve toujours des débris dans le tourteau, si bien décortiqué qu'il soit. On isole facilement ces débris de la gangue qui les enveloppe en désagrégeant le tourteau par immersion dans l'eau, puis en procédant à des décantations réitérées. Leur structure anatomique a été décrite précédemment (Voir *Caractères microscopiques du fruit*) ; on la retrouvera facilement sur des coupes.

Il est d'ailleurs souvent suffisant d'examiner simplement les fragments par transparence, après les avoir éclaircis par la potasse ou l'acide lactique chaud, ou bien en les dissociant à l'aiguille. Le contenu noir de certaines cellules de la zone externe, l'abondance des canalicules de la région parenchymateuse, ainsi que la présence des fibres allongées, — à membranes percées de nombreuses ponctuations et à lumière divisée par des cloisons, — de la région moyenne, sont autant de caractères permettant une détermination donnant toute certitude.

MADIA

Le madia (*Madia sativa* Mol.) est originaire du Chili, où sa culture comme plante oléagineuse est fort ancienne. Acclimaté dans tout le midi de l'Europe, il doit à son peu d'exigences sous le rapport du sol et à sa rapidité de végétation d'avoir été préconisé pour l'utilisation des terres médiocres de la France méridionale, où on lui réserve parfois le rôle d'engrais vert ; il n'y a pris cependant aucune extension et n'occupe aujourd'hui, dans les cultures de cette région, qu'une place des plus restreintes.

Cette plante annuelle, de $0^m,50$ à 1 mètre de hauteur, atteint son complet développement en trois mois et demi environ. Elle produit des feuilles gluantes, à odeur désagréable, et des fleurs jaunes auxquelles succèdent de petits achaines, serrés les uns contre les autres

sur le réceptacle du capitule. Ceux-ci renferment de 30 à 35 p. 100 d'une huile jaune-brunâtre, comestible lorsqu'elle est de préparation récente, mais peu appréciée en raison de sa saveur âcre. Cette huile rancit facilement et convient mal pour l'éclairage ; c'est dans la fabrication des savons qu'elle trouve son principal mode d'utilisation. La propriété qu'elle a de ne pas se congeler la rend précieuse pour le graissage des machines.

Il résulte des expériences de Boussingault et Payen que le tourteau de madia peut être introduit sans inconvénient dans l'alimentation du bétail. Mais les doutes qu'on conserve cependant sur son innocuité et la proportion élevée de cellulose indigestible qu'il contient — le faible volume de la graine ne permet pas de la décortiquer industriellement, — le font classer parmi ceux qui ont la moindre valeur pour cet usage, et c'est surtout comme engrais qu'on l'emploie. Il est, d'ailleurs, très peu répandu chez nous.

Voici la composition chimique de deux tourteaux de madia :

	BOUSSINGAULT et PAYEN. — P. 100	WOLFF. — P. 100
Eau	11,2	10,7
Matières grasses	15,0	9,0
Matières azotées	31,6	31,8
Extractifs non azotés	9,3	21,7
Cellulose	25,7	19,2
Cendres	6,7	7,6

D'après MM. Müntz et Girard, avec 15 p. 100 d'huile, le tourteau de madia renferme 5,06 p. 100 d'azote et 3,40 p. 100 d'acide phosphorique. Ces chiffres représentent une proportion moyenne du premier de ces éléments fertilisants, relativement élevée du second.

Caractères du fruit.

a) **Examen macroscopique.** — De dimensions beaucoup plus réduites que celles du tournesol, les achaines du madia ont une grande analogie de forme avec ces derniers (*fig. II*). Ils sont allongés et légèrement arqués, en coins à quatre faces, avec, aux angles, des arêtes saillantes ; de fines stries longitudinales marquent leur sur-

face. La couleur en est grise. Ces pseudo-graines atteignent de 5 à 7 millimètres de longueur, de $1^{mm},8$ à $2^{mm},5$ de largeur, et de $0^{mm},8$ à $1^{mm},5$ d'épaisseur. Poids de 1 000 fruits : $7^{gr},5$ à 8 grammes.

Le péricarpe, épais et résistant, recouvre une amande blanche, à saveur douce, formée d'un embryon pourvu de deux cotylédons oléagineux, revêtus d'un très mince tégument.



Fig. II. — Madia (*Madia sativa*). Aspect général du fruit.

b) **Examen microscopique.** — Le péricarpe du madia présente une structure semblable à celle du tournesol, mais son épaisseur totale ne dépasse pas 120 à 150 μ (*planche V, fig. 46*). Nous y retrouvons, comme dans le tournesol, deux couches de cellules distinctes.

La première (*a*) est limitée extérieurement par une assise de cellules assez régulières, dont les membranes possèdent des ponctuations simples, surtout visibles quand on examine une section tangentielle du tégument. Cette assise se présente alors sous la forme de cellules rectangulaires, allongées dans le sens de la longueur du fruit et atteignant 80 à 90 μ, sur 20 à 30 de largeur.

Immédiatement au-dessous, se trouve un tissu parenchymateux, écrasé de bonne heure et dont les cellules les plus internes, fortement colorées en brun, tranchent nettement sur les tissus voisins. Toute cette région externe du tégument se détache facilement et souvent ne se retrouve pas dans le tourteau.

La couche *b* est formée de massifs de cellules scléreuses, très allongées dans le sens de la longueur du fruit, et dont les membranes sont munies, comme dans le cas précédent, de nombreuses ponctuations. Ces massifs scléreux sont séparés les uns des autres par du tissu parenchymateux, souvent fortement coloré en brun.

Dans sa région interne, chaque massif possède un faisceau libéro-ligneux, dont on remarque surtout les trachéides.

Le péricarpe est limité par une couche membraniforme, au contact de laquelle se trouve l'épiderme du tégument de la graine, représenté par une assise (*c*) de cellules allongées tangentiellement. Le tissu des cotylédons ne présente pas de caractère nettement distinctif.

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique** — Tourteau gris-foncé, avec nombreuses particules noirâtres. Sec et dur. Cassure fibreuse, sur laquelle on distingue des débris de téguments en grande quantité. Saveur douce, peu marquée.

b) **Examen microscopique.** — Voir *Examen microscopique du fruit.*

NIGER

Le niger est une composée des régions tropicales, que l'on croit originaire de l'Abyssinie et dont la culture se fait surtout dans l'Inde, sur la côte de Coromandel. Elle est connue des Anglais sous le nom de *til,* des Hindous du Malabar sous celui de *ram-til;* les Abyssins l'appellent *nook*. Parmi les nombreuses désignations botaniques qui lui ont été attribuées : *Ramtilla oleifera* D. C., *Verbesina sativa* Roxb., *Jœgera Abyssinica* Sprengel, *Helianthus oleifera* Wallich, etc., celle de *Guizotia oleifera* D. C., subsiste à peu près seule aujourd'hui.

Cette plante annuelle, basse, à feuilles lancéolées, dentées sur les bords, porte des capitules à fleurons jaunes. Les fruits qui leur succèdent sont de petits achaines, réunis près à près, en cercles concentriques, sur le disque floral. Parvenus à maturité, ils fournissent, par double pression, environ 35 p. 100 d'une huile brunâtre, qui devient jaune-paille au raffinage et dont la saveur aromatique rappelle celle du thym.

L'huile obtenue à froid est comestible, neutre ; celle qu'on extrait à chaud sert en savonnerie, mais en mélange avec d'autres huiles susceptibles de rendre le savon moins cassant. Elle brûle mal, en produisant beaucoup de fumée ; malgré cet inconvénient, on l'utilise comme huile lampante, dans les pays froids, parce qu'elle jouit de la propriété de ne se congeler qu'à 16 degrés au-dessous de zéro.

Le tourteau de niger peut être employé pour la nourriture du bétail ; les Anglais l'utilisent volontiers pour cet usage ; toutefois, sa

richesse en cellulose peu digestible en fait un aliment d'assez faible valeur nutritive. Les animaux s'y habituent, mais l'acceptent d'abord avec hésitation.

Décugis, d'une part, Dietrich et König, de l'autre, lui assignent la composition chimique suivante :

	DÉCUGIS — P. 100	DIETRICH et KÖNIG. — P. 100
Eau	12,02	10,81
Matières grasses	5,78	5,46
Matières azotées	31,31	32,02
Extractifs non azotés	42,92	23,53
Cellulose		19,57
Cendres	7,97	8,61

Avec un peu plus de 5 p. 100 d'azote, le tourteau de niger renferme environ 1,8 p. 100 d'acide phosphorique ; il présente donc une richesse moyenne en substances fertilisantes.

La graine de niger et le tourteau qui en provient ne sont pas, en France, l'objet d'un commerce régulier ; il s'écoule souvent d'assez longues périodes sans qu'on les y rencontre.

Cornevin assure que le niger a servi parfois à falsifier les tourteaux de lin.

Caractères du fruit.

a) **Examen macroscopique.** — Achaine allongé, droit ou faiblement courbé, à section sensiblement losangique. L'extrémité inférieure, moins renflée, se termine par la cicatrice du hile. Surface luisante, coloration noire ou noirâtre. Ces fruits rappellent, par leur forme générale, ceux du tournesol et surtout du madia, mais leurs dimensions, beaucoup plus faibles que pour la première de ces espèces, sont inférieures même à celles de la seconde ; ils mesurent : longueur, 4 à 5 millimètres, diamètre, 1 millimètre à 1^{mm},5. 1 000 de ces pseudo-graines pèsent, en moyenne, de 3^{gr},500 à 3^{gr},600. La saveur en est douce, peu marquée.

b) **Examen microscopique.** — Le tégument du fruit du niger se rapproche beaucoup de celui du madia, mais il est plus mince, attei-



gnant à peine 100 µ d'épaisseur totale. La partie externe, qui se détache facilement, est beaucoup plus réduite que la couche correspondante du madia et formée de cellules parenchymateuses écrasées, fortement colorées en brun. La partie interne contient des massifs scléreux d'un petit nombre de cellules, 8 à 10 environ, à lumière étroite, par suite de l'épaisseur considérable des membranes. Celles-ci possèdent des ponctuations moins apparentes que dans le cas précédent. Chaque massif scléreux est entouré extérieurement par le parenchyme brun que nous avons signalé, ce qui donne à l'ensemble du tégument, coupé transversalement, un aspect tout particulier. A l'intérieur des massifs scléreux, se trouvent quelques cellules de parenchyme, écrasées en une lame membraniforme, contre laquelle circulent des faisceaux libéro-ligneux très réduits.

Des sections tangentielles, pratiquées dans le tégument du niger, offrent de grandes analogies avec celles que nous avons décrites au sujet du madia.

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique** — Tourteau noirâtre, dur, sec, à cassure finement lamelleuse. Les très nombreux débris de péricarpe qu'il renferme, fort reconnaissables à la loupe, rappellent par leur apparence celle du fruit lui-même ; ils sont noirs et brillants. Après immersion du tourteau dans l'eau, ils se séparent aisément, par décantation, de la gangue grisâtre qui les entoure. Saveur douce, peu accentuée.

b) **Examen microscopique.** — Voir *Examen microscopique du fruit.*

SAPOTACÉES

MOWRAH

Le *Bassia latifolia* Roxb. (*Bassia villosa* Wall., *Illipe latifolia* F. von Muller), désigné vulgairement sous les noms de *mowrah, mohra, mahwata, moula, yallah,* etc., est un arbre de 12 à 15 mè-

tres et plus de hauteur, qui croît à l'état spontané sur la côte occidentale de l'Inde ; il y est rarement l'objet d'une culture régulière. Ses nombreuses ramifications portent des feuilles oblongues, blanchâtres à la face inférieure, et des fleurs blanches, pendantes, auxquelles succèdent des fruits allongés, du volume d'une grosse prune, dont la pulpe rougeâtre, recherchée des oiseaux, est consommée parfois aussi par les indigènes. Ces drupes renferment des graines oléagineuses dont on trouvera plus loin la description.

« Toutes les parties du mowrah sont utilisées, dit Boëry (1) ; son bois dur est recherché pour la construction des roues de voitures ; ses corolles, charnues, renferment des principes alimentaires et une grande quantité de sucre. En faisant fermenter et distiller ses fleurs, on obtient une liqueur forte, enivrante, très appréciée des peuplades de ces pays. Enfin, on retire des graines une huile concrète, employée pour l'éclairage et même quelquefois pour l'alimentation (2). »

Les graines de mowrah, débarrassées de la pulpe qui les entoure, puis séchées, sont utilisées sur place ou exportées. Marseille en reçoit, chaque année, d'importants chargements.

Ces graines, concassées, broyées et soumises à deux pressions, dont la seconde à chaud, donnent de 35 à 40 p. 100 d'une huile jaune, qui ne se liquéfie complètement que vers 25 degrés ; au-dessous de cette température, elle se sépare en deux parties, l'une semi-liquide, l'autre solide et riche en stéarine. Cette dernière est employée pour la fabrication des bougies, l'autre sert à la préparation des savons.

Le tourteau obtenu comme résidu doit être rigoureusement exclu des rations destinées au bétail ; il est nettement toxique. « L'étude expérimentale que nous en avons faite, dit Cornevin, nous l'a révélé comme un violent poison éméto-cathartique ; même injecté sous la peau ou dans les veines, il s'élimine par le tube digestif, où il produit des lésions inflammatoires très graves, de l'entérorrhagie et de l'ul-

1. *Les plantes oléagineuses et leurs produits.*

2. Voir aussi Poisson, « Note sur les produits industriels fournis par les Bassia », *Bull. Soc. botan.* 1881.



cération. » Sa saveur âcre et son amertume détournent heureusement les animaux de le consommer.

Il n'a, d'autre part, qu'une très faible valeur pour la fumure du sol ; dans les dix échantillons analysés par d'Hont (1), la proportion des principes fertilisants variait entre les limites suivantes : azote, 2,35 à 2,97 ; acide phosphorique, 0,74 à 0,83 ; potasse, 2,13 à 2,64. Aussi se vend-il toujours à bas prix et les fraudeurs sont-ils tentés de s'en servir pour l'adultération d'autres tourteaux atteignant des cours plus élevés. A la station d'essais de semences, l'examen de deux tourteaux-engrais, l'un de sésame, l'autre de colza, nous y a fait découvrir la présence de mowrah dans la proportion de 20 p. 100 dans le premier et de 12 p. 100 dans le second. M. Naquet, président du Syndicat agricole d'Aix, auquel ces produits avaient été livrés, a dénoncé cette fraude dans la presse spéciale (2).

Il convient de signaler la confusion qui s'est produite, au début, entre le tourteau de mowrah et celui de palmiste, sous le nom duquel on le vendait. La composition chimique de ces deux tourteaux, est peu différente, mais ils sont loin d'avoir les mêmes propriétés.

Les braconniers se servent du tourteau de mowrah pour tuer ou stupéfier le poisson dans les cours d'eau.

Caractères de la graine.

a) **Examen macroscopique**. — Graine oblongue, de 15 à 20 millimètres de longueur, sur 8 à 10 d'épaisseur maxima ; elle pèse de 750 à 800 milligrammes. La coque, lisse et luisante, de coloration acajou ou jaunâtre, qui la revêt, renferme une amande brune formée de deux gros cotylédons oléagineux ; elle s'en sépare aisément lorsque la graine est sèche et apparaît alors tapissée intérieurement d'une pellicule mate, à stries blanchâtres. Saveur très amère, persistante.

b) **Examen microscopique**. — Le tégument ou coque est constitué par un épiderme fortement cutinisé, d'une seule assise de cellules

1. D'Hont, *Contribution à l'étude des tourteaux*.
2. *Le Réveil agricole*. Marseille, 10 juin 1900.

(*fig. III — 1-2*), à l'intérieur duquel se trouve un parenchyme de cellules à nombreuses membranes épaisses, colorées en jaune ; quelques méats existent entre elles. Elles ne sont pas plus allongées que larges, de telle sorte que, vues de face en section tangentielle (*fig. III-3*), elles présentent le même aspect que de profil dans la section transversale. Dans sa partie médiane, ce parenchyme est formé de cellules moins régulières, orientées dans divers sens et munies de membranes finement ponctuées. La région interne forme une véritable couche membraniforme de cellules à parois très minces, écrasées les unes contre les autres, au milieu desquelles circulent de nombreux cordons vasculaires. Le tissu des cotylédons se présente sous la forme de grands éléments polygonaux, à contenu fortement coloré en brun, soluble dans les alcalis.

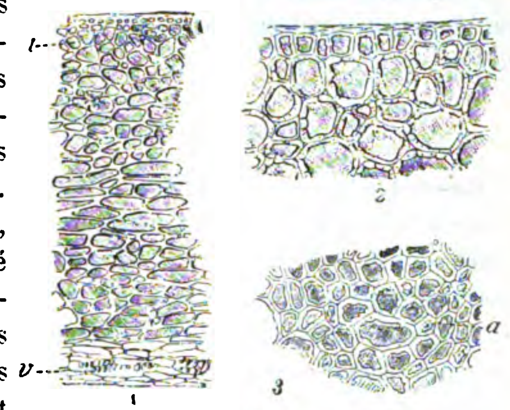


Fig. III. — Mowrah (*Bassia latifolia*).
1. Section transversale du tégument de la graine (gr.: 150 d.). — 2, Région externe (*a*) du même tégument (gr.: 400 d.). — 3, Section tangentielle de la région *a* [gr. : 400 d.].

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique.** — Tourteaux carrés coupés aux angles, de 30 à 35 centimètres de côté et de 1,5 à 3 centimètres d'épaisseur. Le poids de ceux que nous avons eus en notre possession variait de 2^{kg},300 à 4^{kg},200. Coloration brun-rougeâtre, avec fragments souvent volumineux de coques, jaunâtres, lisses et luisants à la surface ; ces fragments se retrouvent, plus ou moins nombreux, sur la cassure du tourteau, enchâssés dans une pâte serrée, assez homogène. Le tourteau de mowrah est dur, sec, et se désagrège lentement dans l'eau. Il offre à la gustation la même amertume persistante que la graine ; son odeur rappelle celle de l'amidon grillé.

Le tourteau de mowrah sulfuré se présente sous la forme d'une poudre fine, brun noirâtre.

b) **Examen microscopique.** — Il portera à la fois sur la structure du tégument, précédemment décrite, et sur les éléments des cotylédons.

ILLIPÉ

Espèce très voisine du mowrah, l'illipé (*Bassia longifolia* Wild.) présente avec celui-ci beaucoup de caractères communs. C'est également un arbre élevé, de 10 à 12 mètres de hauteur, très ramifié, portant des feuilles lancéolées, plus allongées que celles du mowrah, et des fleurs à pétales charnus et sucrés. Ses fruits, très nombreux, sont des baies ovoïdes, de la grosseur d'une prune, dont la pulpe enveloppe des graines oblongues, décrites plus loin (*fig. IV-1*).

L'aire de répartition de l'illipé est plus étendue que celle du mowrah ; elle occupe non seulement l'Inde, mais encore les îles de la Sonde, La Réunion, Madagascar et le Sénégal.

Les diverses parties de la plante servent aux mêmes usages que celles correspondantes du mowrah. Des graines, on extrait, par double pression, de 60 à 65 p. 100 d'une huile concrète ou *beurre d'illipé,* fusible à 25 degrés, qu'on utilise pour la fabrication des bougies et des savons; dans les régions d'origine, cette huile, à saveur assez agréable, entre, paraît-il, dans l'alimentation des indigènes.

Décortiqués ou non, les tourteaux d'illipé doivent être proscrits des rations destinées au bétail. Cornevin, qui en a étudié les effets, déclare : « L'illipé est toxique, il provoque les symptômes de la superpurgation et en amène les lésions dans l'appareil digestif. Il fait apparaître aussi des contractions musculaires. Son action est moins prompte que celle du mowrah et la mort plus lente à survenir. Du reste, ce dernier étant vendu aussi sous le nom d'illipé, il peut en résulter des confusions dont l'agriculteur payerait les frais, s'il le faisait entrer dans les rations de ses animaux. »

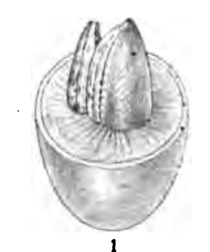
Il n'a donc d'intérêt que comme engrais, mais, à cet égard, sa valeur est plus faible encore que celle du mowrah ; il ne dose, en

effet, que de 1,5 à 1,8 p. 100 d'azote, avec, en moyenne, 0,4 d'acide phosphorique et 2,10 de potasse.

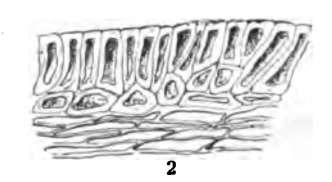
C'est, de tous les tourteaux, l'un des moins riches en éléments fertilisants, et, pour que les cultivateurs trouvent avantage à l'employer, il faut qu'il leur soit livré à très bas prix.

Caractères de la graine.

a) **Examen macroscopique.** — Les graines du *Bassia longifolia* sont oblongues, mais plus grosses et plus arrondies que celles du mowrah, avec un tégument plus mince, de coloration plus foncée, recouvrant une amande très dure. Celles qui proviennent de Sumatra ont un moindre volume que les graines récoltées à Bornéo.



1



2

Fig. IV. — Illipé (*Bassia longifolia*).
1, Aspect général du fruit coupé jusqu'à la graine. — 2, Section transversale dans le tégument de la graine. — Gr. : 200 d.

b) **Examen microscopique.** — La structure anatomique de la graine d'illipé présente de grandes analogies avec celle du mowrah. L'épaisseur totale du tégument est moindre cependant : elle n'atteint que 200 μ au maximum. Le caractère distinctif le plus net que présente une coupe transversale de ce tégument réside dans l'aspect de la région externe (*fig. IV-2*), formée d'un épiderme hyalin, sclérifié, d'une à deux assises de cellules. Ces cellules tranchent nettement sur celles du parenchyme voisin, écrasées et fortement colorées en jaune d'ocre.

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique.** — Tourteau carré, coupé aux angles, de 30 à 35 centimètres de côté et d'une épaisseur de 1 à 2 centimètres. Couleur acajou, avec fragments bruns ou noirâtres du tégument

séminal. Très dur. Cassure irrégulière, lamelleuse, sur laquelle ces fragments apparaissent noyés dans une gangue rougeâtre, présentant çà et là des débris d'amande assez volumineux. Saveur faiblement amère ; odeur d'amidon grillé.

b) **Examen microscopique.** — En pratiquant des coupes sur les débris de téguments inclus dans le tourteau, ou sur ceux qu'on aura isolés, soit en les extrayant mécaniquement du tourteau, soit en désagrégeant celui-ci par l'immersion dans l'eau, on retrouvera les caractères décrits au sujet de la graine.

ARGAN

L'arganier (*Argania Elæodendron* L., *A. Sideroxylon* R. et S.) appartient à la famille des Sapotacées, comme les deux espèces qui précèdent. C'est un arbuste qui croît au Maroc et à Madagascar et qu'on a tenté, sans succès d'ailleurs, de propager en Algérie et en Tunisie. « L'arganier, dit M. Ch. Rivière, directeur du jardin d'essais de Hamma ([1]), est une plante sans aucun intérêt, sans avenir économique, sans beauté, à végétation lente, et qui ne mérite nullement que l'on y consacre la moindre attention, malgré l'exhumation périodique dont elle est l'objet en Algérie. Il ne saurait avoir, à côté de l'olivier, le moindre rôle économique dans l'Afrique du nord. »

L'arganier porte des feuilles ressemblant à celles du lentisque. Son fruit, l'*argan*, de la grosseur d'une prune, renferme un noyau ou *noix* dont l'amande est oléagineuse. Au Maroc, les indigènes recueillent ces noyaux dans les excréments des vaches, des chameaux et des chèvres, qui se nourrissent du fruit, le cassent entre deux pierres, en font griller légèrement l'amande, puis la triturent sous une meule pour en extraire l'huile. Celle-ci sert à l'alimentation et à l'éclairage. Elle conviendrait aussi, paraît-il, pour la fabrication des savons et le graissage des machines. L'huile d'argan rancit très facilement et prend alors une saveur fort désagréable.

S'il faut en croire les auteurs qui ont écrit sur la matière, le tour-

1. L'*Algérie agricole*, août-septembre 1902.

teau d'argan serait employé sur place pour la nourriture des ruminants, mais les chevaux et les ânes le refuseraient obstinément, sans doute à cause de sa saveur âcre. C'est à titre de simple renseignement que nous en parlons ici, car ce tourteau n'est pas importé en Europe, et nous n'avons pu nous en procurer aucun échantillon. La composition chimique ne nous en est pas connue non plus.

MÉLIACÉES

MAFFOURAIRE

Comme les autres plantes de la famille des Méliacées, le maffouraire (*Trichilia emetica* Valh.) appartient à la flore tropicale. Il croît dans la partie montagneuse de l'Arabie, sur la côte de Mozambique, à Madagascar, dans les Guyanes et les régions voisines de l'Amérique centrale. C'est un grand arbre dont les nombreuses ramifications portent des feuilles composées, à folioles ovales, tomenteuses et de coloration rouge, et des touffes de fleurs assez semblables à celles du citronnier. Son fruit, parfois triloculaire, le plus souvent uniloculaire, par avortement de deux des loges de l'ovaire, jouit de propriétés émétiques et antiparasitaires, que les indigènes des pays de production mettent à profit. Les graines qu'il renferme, débarrassées de la pulpe qui les entoure, sont séchées, en vue de l'utilisation sur place ou de l'exportation. Il y a quelques années, Marseille en recevait d'assez grandes quantités; elles n'y viennent plus aujourd'hui que par intermittence.

Broyées, puis soumises à deux pressions, ces graines fournissent environ 30 à 35 p. 100 d'huile. Elles doivent être traitées à chaud, car la matière grasse qu'elles contiennent ne se liquéfie qu'à 38 degrés; à la température ordinaire, elle se présente en masse solide, brunâtre, avec des veines blanches. Elle doit sa consistance à sa richesse en stéarine; aussi l'emploie-t-on pour la fabrication des bougies; les résidus trouvent leur utilisation dans la savonnerie.

On est mal fixé sur les propriétés du tourteau de maffouraire, mais, en raison de celles du fruit lui-même et de sa parenté avec

des espèces nettement vénéneuses, on a trop de raisons de suspecter ce produit de toxicité pour le donner au bétail ; au reste, il est assez pauvre en matières protéiques. Sa teneur en azote, de 2,50 p. 100 en moyenne dans le tourteau ordinaire, ne dépasse guère 3 p. 100 dans le tourteau repassé ; il s'y trouve moins de 1 p. 100 d'acide phosphorique. Cette composition en fait un engrais de faible valeur. Ce tourteau ne se rencontre plus aujourd'hui que rarement dans le commerce.

Caractères de la graine.

a) **Examen macroscopique.** — Graine oblongue, de 12 à 20 millimètres de longueur, sur 8 à 12 millimètres de diamètre transversal (*fig. V — 1-2*) ; poids $0^{gr},450$ à $0^{gr},500$. Le tégument, brun ou rougeâtre, qui la revêt, mince et friable, se sépare aisément de l'amande ; celle-ci, de coloration brune, plus pâle sur la moitié correspondant à l'embryon, est formée de deux cotylédons souvent inégaux, accolés par leur face interne, irrégulièrement incurvée ; leur chair offre une teinte chamois. Saveur amère.

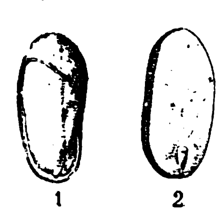


Fig. V. — Maffouraire (*Trichilia emetica*). — Aspect de la graine entière et ouverte longitudinalement.

b) **Examen microscopique.** — Le tégument de la graine de maffouraire atteint une épaisseur totale de 250 μ environ. Sur une section transversale, il apparaît limité extérieurement par une mince assise épidermique (*planche V — fig. 44, a*). Au-dessous de celle-ci se trouvent des cellules parenchymateuses, à membranes très fines, se déchirant facilement sous le rasoir ; on les distingue rarement sur les fragments de téguments prélevés dans le tourteau. Toute cette région externe est oléagineuse, riche en acides gras, déposés en masses cristallines dans l'intérieur de grandes cellules spéciales (*b*). Vers la partie interne, se trouvent des faisceaux libéro-ligneux, formés de longues trachées spiralées, entourées par des cellules scléreuses, allongées, à membranes fortement épaissies, d'une dimension transversale de 20 à 40 μ (*planche V — fig. 45*) ; ces membranes sont munies de nombreux canalicules.

Les cotylédons, directement appliqués contre ce tégument, sont très riches en huile essentielle, localisée dans des poches de large diamètre, faciles à retrouver à l'examen.

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique.** — Tourteau carré coupé aux angles, de 30-35 centimètres de côté ; épaisseur, 1,5 à 2 centimètres. Rouge brun avec fragments de coques jaunâtres. Dur et compact. Cassure grenue sur laquelle on aperçoit, à la loupe, des fragments plus ou moins volumineux de l'amande, bruns ou blanchâtres, et des débris de téguments papyracés, noyés dans une pâte homogène rougeâtre. Saveur amère.

b) **Examen microscopique.** — Les cellules scléreuses dont nous avons signalé la présence dans le tégument de la graine, et les poches chargées d'huile des cotylédons, sont les éléments caractéristiques à rechercher.

TOULOUCOUNA

Deux arbres de la famille des Méliacées, d'espèces très voisines, le *Carapa touloucouna* Guill. et Perr., et le *Carapa guianensis* Aubl., produisent des fruits capsulaires de 10 à 12 centimètres de diamètre, renfermant de grosses graines oléagineuses, tellement semblables qu'il est difficile de les distinguer les unes des autres. Elles ont cependant une valeur et des usages très différents.

Le *Carapa touloucouna* est abondant sur les côtes de l'Afrique occidentale; on extrait de ses graines entières environ 30 p. 100 d'une huile concrète, fusible à 24 degrés et désignée sous le nom de *beurre de touloucouna;* les amandes décortiquées en renferment jusqu'à 70 p. 100. A Marseille, où les graines de touloucouna parvenaient jadis en quantités importantes, l'huile, à saveur très amère, était utilisée presque exclusivement pour la fabrication des savons.

Le *Carapa guianensis,* localisé dans les Guyanes, fournit une huile liquide à la température ordinaire, employée comme aliment dans les régions de production de la plante.

Les tourteaux de touloucouna se présentent sous deux formes : dé-

cortiqués et non décortiqués. On est mal fixé sur leurs propriétés et leur valeur pour l'alimentation du bétail. Perrottet affirme qu'à Cayenne, les porcs se nourrissent de l'amande du touloucouna, sans qu'il en résulte aucun accident et sans que leur chair contracte de saveur amère. Une note, insérée au *Bulletin mensuel de la Société d'acclimatation* (1874), présente les tourteaux comme avantageusement employés en Sénégambie pour la nourriture des bestiaux. Leur amertume extrême est-elle due, comme l'assure Cadet, à la présence de strychnine ou, comme le déclare Caventou, à celle d'une substance résineuse ? N'y a-t-il pas lieu, même, d'établir une distinction entre les tourteaux des deux espèces de *Carapa ?* En l'absence de recherches et d'expériences permettant d'élucider ces différents points, la prudence conseille de considérer les tourteaux de touloucouna comme suspects et de les utiliser exclusivement pour la fumure des terres. Encore ne faut-il pas perdre de vue que leur valeur comme engrais est faible, à l'égal de celle du mowrah ; dans deux tourteaux bruts, Décugis a dosé, avec 9,75 et 10,23 p. 100 de matière grasse, seulement 2,53 et 2,83 p. 100 d'azote et 0,86 p. 100 en moyenne d'acide phosphorique. Un tourteau décortiqué, analysé par Corenwinder, renfermait 4,37 p. 100 d'azote.

Caractères de la graine.

a) **Examen macroscopique**. — Graine grosse, aplatie sur deux faces

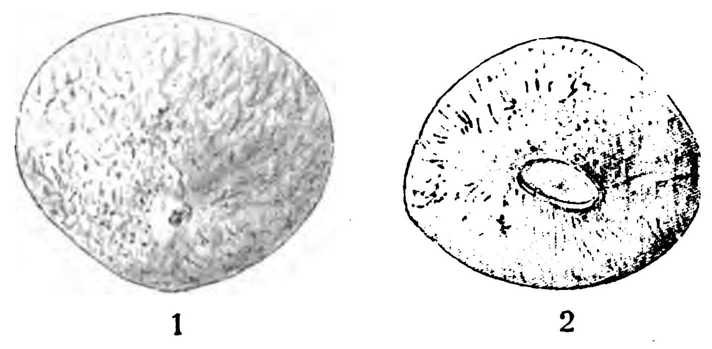


Fig. VI. — Aspect extérieur des graines de *Carapa touloucouna* (1) et de *Carapa guianensis* (2).

latérales ; sa forme rappelle celle d'une figue comprimée (*fig. VI*).

Longueur, du hile au sommet, 4 centimètres environ ; largeur, 3c,5 à 4 centimètres ; épaisseur moyenne, 1c,5 à 3 centimètres.

Le tégument est représenté par une coque brun-foncé, généralement très dure, plus ou moins rugueuse à la surface, de 1 à 2 millimètres d'épaisseur dans le *Carapa touloucouna* et de 2 à 3 dans le *Carapa guianensis*. Il recouvre une amande constituée par l'embryon et deux gros cotylédons charnus et oléagineux, de couleur jaunâtre. Saveur très amère.

b) **Examen microscopique.** — En coupe transversale (*planche V — fig. 43*), par suite de la disparition de l'épicarpe, réduit à une pellicule très mince, le tégument apparaît formé extérieurement des cellules sclérifiées du mésocarpe, orientées dans des sens différents ; la plupart d'entre elles possèdent un contenu brun foncé, auquel la graine doit sa coloration propre. La région interne présente des cellules allongées tangentiellement, ainsi que des massifs vasculaires (*v*). Entre le tégument et les premières assises du cotylédon (*c*) se trouve une couche (*a*) de cellules régulièrement polygonales, à contenu homogène, d'une teinte brune assez claire ; c'est le reste de l'albumen, incomplètement digéré par les cotylédons.

Dans le *Carapa guianensis*, les cellules du tégument sont moins sclérifiées, moins serrées les unes contre les autres et, par conséquent, plus arrondies ; elles laissent même entre elles quelques méats. Ces différences sont insuffisantes pour permettre de distinguer avec certitude les deux espèces.

M. Heckel [1] signale la présence de grains d'amidon dans les cotylédons du *Carapa guianensis ;* il n'en existerait pas dans ceux du *Carapa touloucouna*.

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique.** — Tourteau carré, de mêmes dimensions que les précédents. Couleur chocolat. Dur et résistant. Pâte homogène dans le tourteau décortiqué ; dans le tourteau brut, les

1. *Revue des cultures coloniales* (1899).

fragments de coques donnent à la cassure une apparence lamelleuse, leur coloration est plus claire que celle de la gangue qui les enchâsse. Saveur amère très prononcée.

b) **Examen microscopique.** — Voir *Examen microscopique de la graine*. Même dans le tourteau décortiqué, on retrouve toujours quelques débris de coques, dont l'examen est précieux pour la détermination spécifique du produit.

GRAMINÉES

MAÏS

Le maïs (*Zea Mays* L.) tient, sur l'ensemble du globe, une place considérable parmi les céréales; il se trouve répandu surtout dans la zone tempérée chaude de l'hémisphère boréal. En France, sa culture pour la production du grain n'a d'importance que dans le sud-ouest et dans quelques départements de l'est; elle n'occupe en tout qu'un peu plus de 535 000 hectares et livre environ 9 300 000 hectolitres de grains. Elle est beaucoup plus développée en Italie (25 400 000 hectolitres), en Hongrie (46 500 000 hectolitres) et en Roumanie (10 530 000 hectolitres); mais nulle part elle n'atteint des proportions aussi colossales qu'en Amérique : aux États-Unis, elle s'étend sur plus de 28 575 000 hectares et fournit 574 000 000 d'hectolitres de grains.

Si l'alimentation de l'homme et des animaux absorbe une part importante de ces récoltes, elle est fort loin de les utiliser exclusivement; l'industrie tire du maïs des produits variés: amidon, glucose, dextrine, alcool, etc.

A côté des matières amylacées qui constituent sa masse principale, le grain de maïs renferme une proportion d'huile relativement élevée : de 7 à 9 p. 100. Cette huile, localisée surtout dans l'embryon, est extraite par des procédés que nous allons examiner. Elle ne rancit pas et sert à de nombreux usages industriels; en la vulcanisant, notamment, on en obtient une substance élastique, qui peut remplacer le caoutchouc pour la fabrication de divers objets: tubes, tissus

imperméables, linoléum, etc. Par la rectification, on la transforme en un produit comestible.

Dans le procédé Planat, le grain de maïs est réduit en gruaux par le passage sous des meules; après blutage de ceux-ci, pour en séparer la farine produite lors de ce concassage, on les soumet à un sassage qui les divise en deux lots : d'une part, les gruaux oléagineux, plus légers; de l'autre, les gruaux féculents, plus lourds. Ces derniers vont à la distillerie; des premiers, on forme, par le broyage en présence d'eau tiède, une pâte qui, pressée à chaud (vers 60 degrés), livre environ 6 kilogr. d'huile par 100 kilogr. de grains.

On obtient comme résidu le véritable tourteau de maïs, que l'on trouve assez rarement chez nous dans le commerce. Il présente la composition suivante :

	PÉTERMANN.	GRANDEAU.
Eau	8,75	11,10
Matières azotées	15,49	15,10
Matières grasses	10,81	9,40
Extractifs non azotés	50,22	53,70
Cellulose	8,58	6,70
Cendres	6,15	4,00
	100,00	100,00

Tous les animaux acceptent volontiers ce tourteau. Il est parmi les moins riches en azote (2,50 p. 100 en moyenne) et n'a, par suite, qu'une valeur nutritive assez faible, qui le rend peu propre à l'engraissement. Il convient mieux aux vaches laitières, et sa teneur élevée en acide phosphorique (3,42 p. 100, d'après Décugis) en fait un très bon aliment pour les jeunes, dont il favorise le développement du squelette.

Les produits désignés improprement sous le nom de *tourteaux de gluten de maïs* sont obtenus par un procédé tout différent, dû à MM. Porion et Mehay. Ils résultent du traitement du grain, préalablement broyé, par l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique, dans le but de transformer l'amidon en glucose. Le résidu est additionné de carbonate de soude ou de chaux, pour neutraliser l'excès d'acide, exprimé dans des filtres-presses, soumis à une macération à chaud,

dans le but de le débarrasser des matières qui le rendraient impropre à la consommation, repassé au filtre, séché, puis soumis aux opérations usitées en huilerie : pression ou épuisement par le sulfure de carbone ou l'essence de pétrole. Dans le premier cas, les drèches se trouvent agglomérées en tourteaux ; dans le second, elles prennent la forme granulée et constituent les *farines déshuilées,* qui peuvent entrer également dans les rations des animaux.

L'emploi de l'acide chlorhydrique et de la soude donne des tourteaux riches en sel marin, recherchés par le bétail. La substitution de la chaux à la soude et celle de l'acide sulfurique à l'acide chlorhydrique déterminent la formation de sulfate de chaux, qui reste en partie dans les tourteaux ; ceux-ci doivent alors être réservés pour la fumure des terres.

Des tourteaux de drèches de maïs, encore chargés de leur huile, analysés par M. Ladureau, présentaient la composition suivante :

Eau	10,50
Matières azotées	33,12
Matières grasses	11,55
Extractifs non azotés	17,43
Cellulose	24,65
Cendres	2,75
	100,00

Dans un échantillon de tourteau de gluten, d'Hont a trouvé 36,75 p. 100 de substances azotées ; Petermann en a dosé, dans un autre, jusqu'à 40,3 p. 100. La richesse en azote de ces produits, notablement plus élevée que celle des tourteaux de maïs proprement dits, leur confère plus de valeur pour l'alimentation des animaux à l'engrais. Aux vaches laitières, on les donne en buvées ou concassés et mélangés à des fourrages aqueux : betteraves, carottes, etc.

Comme les autres tourteaux de maïs, les tourteaux de gluten ont une teneur élevée en acide phosphorique.

Sous le nom de *tourteaux de germes de maïs,* le commerce livre en grandes quantités à l'agriculture des résidus de distillerie, de glucoserie ou d'amidonnerie, dont la composition chimique est très variable.

Nous faisons figurer ci-dessous les résultats de l'analyse de plusieurs produits de ce genre :

	WOLFF.	SCHULZE.	D'HONT.	GRANDEAU
Eau	10,6	10,28	9,30	9,30
Matières azotées . . .	13,5	de 19,46 à 26,91	26,27	25,40
Matières grasses . . .	10,8	de 8,10 à 16,18	9,45	13,90
Extractifs non azotés .	50.1	de 38,97 à 43,10	40,73	38,90
Cellulose	8.8	10,26	6,83	8,30
Cendres	6,2	2,37	7,42	4,20
	100,00		100,00	100,00

Ces tourteaux sont tous propres à l'alimentation du bétail, animaux à l'engrais ou bêtes laitières, mais leur valeur à cet égard, très inégale, comme l'indiquent les chiffres qui précèdent, ne peut être appréciée *a priori* et sa détermination exige l'intervention du chimiste. D'ailleurs, ces produits renferment assez souvent, en mélange avec les débris de maïs, ceux d'autres céréales servant aux mêmes industries : seigle ou riz notamment. On leur reproche de s'altérer facilement. D'observations faites par M. Saint-Yves Ménard (1), il résulterait que les tourteaux de maïs communiquent au lait une saveur d'ail.

Caractères du grain.

a) **Examen macroscopique.** — Le grain de maïs est trop connu pour que nous nous attardions à en décrire l'aspect extérieur. Notons seulement qu'il s'agit d'un fruit (*caryopse*) dont les caractères diffèrent beaucoup avec les variétés. Il est tantôt arrondi, tantôt déprimé sur ses faces latérales ; son volume va de celui d'un pois à celui d'une fève ; sa couleur est blanc-crème, jaune, grise, rouge ou noirâtre ; sa consistance, farineuse ou cornée ; quant à son poids, il varie dans de larges limites, comme en témoignent les chiffres suivants, obtenus à la station d'essais de semences :

	POIDS DE 100 GRAINS.
Maïs quarantain	$8^{gr},600$
— jaune gros	30 ,825
— dent de cheval.	33 ,015
— Cuzco	49 ,120

1. *Compte rendu du premier congrès de la Société de l'Alimentation rationnelle du bétail,* Paris, 1897.



b) **Examen microscopique.** — Le tégument du maïs est formé par des cellules sclérifiées, très fortement allongées dans le sens tangentiel et de plus en plus écrasées vers l'intérieur (*fig. VII*). Ces cellules correspondent au péricarpe du fruit, et les plus internes d'entre elles, qui forment l'endocarpe, se prolongent en cellules tubulaires, allongées suivant le grand axe du grain et difficiles à mettre en évidence. Le tégument séminal, provenant des téguments de l'ovule, est écrasé et réduit à une couche très mince, de coloration brune. Contre celle-ci est appliquée l'assise protéique de l'albumen, à éléments grands, réguliers, chargés de grains d'aleurone et de matières protéiques. Les cellules sous-jacentes sont remplies d'amidon, en grains plus ou moins polygonaux, à hile apparent, souvent étoilé, sur la structure duquel nous insistons plus loin.

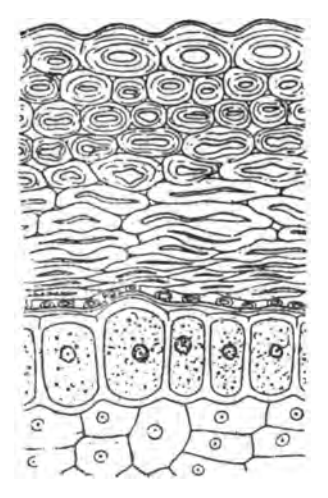


Fig. VII. — Maïs (*Zea Mays.*). — Section transversale dans le péricarpe du fruit (d'après Guérin) [1].

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique.** — Les tourteaux de maïs se présentent sous la forme de galettes carrées ou longuement trapézoïdales, d'une épaisseur de 12 à 15 millimètres.

Les tourteaux d'huilerie sont d'un blanc jaunâtre, parfois jaunes de cire, comme vernissés à la surface, souvent piquetés de points plus foncés. Très durs, il se délitent difficilement dans l'eau. La cassure en est irrégulière, d'un jaune grisâtre, la texture compacte ; à la loupe, on y distingue des débris de son, jaunâtres ou rougeâtres. La saveur en est fade.

Les tourteaux de gluten ont une couleur blanc-crème. Moins durs

1. Guérin. « Sur le développement du tégument séminal et du péricarpe des graminées ». *Ann. Sc. Nat.*, 1899.

que les précédents, ils offrent une cassure farineuse, assez homogène, avec des particules peu distinctes. Leur aspect rappelle celui du tourteau d'arachides.

Les tourteaux de germes présentent des caractères analogues.

b) **Examen microscopique.** — Tous les tourteaux de maïs renferment de l'amidon et l'examen de celui-ci donne un excellent moyen de les reconnaître. Dans les tourteaux d'huileries ou d'amidonneries, cet amidon a conservé sa forme primitive ; les grains sont polygonaux, plus ou moins arrondis, de 20 à 25 μ de diamètre, avec un hile apparent, souvent étoilé (*planche V — fig. 42*[bis]).

Les tourteaux de glucoseries possèdent peu d'amidon et les grains que l'on y retrouve sont déformés, gonflés, en partie désorganisés par l'amylase. Les nombreux débris de l'enveloppe du grain (péricarpe) qu'ils renferment, vus par transparence au microscope, apparaissent formés de cellules allongées, à membranes minces, munies de ponctuations (*planche V — fig. 42*). Ces membranes sont difficiles à observer quand la préparation n'a pas été soigneusement nettoyée au préalable.

L'analyse chimique est le complément tout particulièrement utile, sinon indispensable, de l'examen microscopique des tourteaux de maïs.

AMPÉLIDÉES

RAISIN

Les opérations auxquelles les fruits de la vigne ou *raisins* sont soumis pour la préparation du vin laissent comme résidus des *marcs*, formés : 1° du rachis des grappes ou *rafles ;* 2° des pellicules des baies ou *peaux ;* 3° des graines ou *pépins*. Dans le cas où l'égrappage précède la mise en cuve, on ne retrouve dans les marcs que ces deux dernières parties.

D'après M. Degrully [1], 100 kilogr. de marc desséché à 110° renfermeraient : rafles, $28^{kg},200$; pellicules, $47^{kg},580$; pépins, $24^{kg},200$.

1. Étude sur la valeur alimentaire du marc de raisin. *Annales agronomiques*, 1877.

Dans le marc d'égrappage, la répartition se ferait ainsi : pellicules, 66kg,700 ; pépins, 33kg,300.

Le même auteur attribue la composition suivante aux pépins de raisin, privés de leur eau par le passage à l'étuve :

Matières grasses	14,20
Matières protéiques	7,19
Extractifs non azotés	64,19
Cellulose	11,05
Cendres	3,37
	100,00

Ces chiffres, essentiellement variables, diffèrent beaucoup avec les cépages. MM. Aimé Girard et Lindet ont trouvé que des grappes fraîches des variétés suivantes comprenaient :

	GAMAY.	PINOT.	FOLLE BLANCHE.
Rafles	2,50	1,61	3,19
Grains	97,50	98,39	96,81
	100,00	100,00	100,00

Ces proportions varient également avec l'année.

Les grains, à leur tour, étaient ainsi constitués :

	GAMAY.	PINOT.	FOLLE BLANCHE.
Pulpe	90,54	88,51	87,22
Peaux	7,08	6,61	9,92
Pépins	2,38	4,88	2,86
	100.00	100,00	100,00

La composition chimique des pépins n'est pas moins différente d'une variété à l'autre. Les mêmes auteurs l'ont établie comme suit :

	GAMAY.	PINOT.	FOLLE BLANCHE.
Eau	32,14	29,54	36,61
Huile	7,39	7,98	4,96
Acides volatils	0,72	1,04	0,93
Tanin	6,87	4,17	4,67
Matières résineuses	5,17	5,40	3,77
Ligneux et non dosé	45,99	50,12	47,64
Matières minérales	1,72	1,75	1,42
	100,00	100,00	100,00

Des chiffres qui précèdent, il ressort que les pépins contiennent une assez forte proportion d'huile ; l'idée d'extraire celle-ci devait naturellement se présenter à l'esprit. Les premiers essais dans ce sens furent faits à Bergame (Italie), il y a plus d'un siècle. Ils ont été répétés depuis, à plusieurs reprises, et la production d'huile de raisin a été tentée dans quelques exploitations du midi de la France, sans toutefois prendre aucune extension dans nos régions viticoles ; elle est un peu plus répandue en Italie et en Orient. Les graines, isolées des marcs par le triage, sont traitées dans l'exploitation même par des procédés rudimentaires (réduction en pâte par broyage, chauffage, puis pression).

Les chiffres résultant des essais personnels de M. J. Vidal fils et les conclusions qu'il en tire [1] méritent d'être relatées. « Nous avons pu, dit-il, retirer du marc de 10 hectolitres de vin environ 65 kilogr. de pépins de raisins, qui ont fourni 9^{kg},850 d'huile, soit un peu plus de 15 p. 100. Le marc d'un hectolitre de vin nous a donc produit 985 grammes d'huile, et une expérience faite dans de meilleures conditions nous permet de supposer un rendement moyen d'un kilogramme d'huile par marc d'un hectolitre de vin. Ces chiffres n'ont rien d'absolu, car il peut arriver que l'on constate une variation dans le rendement. On nous affirme même qu'en Italie, certains propriétaires ont obtenu jusqu'à 18 à 20 p. 100 d'huile par 100 kilogr. de pépins. » M. Vidal attribue cette variation à la nature des cépages et il ajoute que les pépins de raisins blancs fournissent moins d'huile que ceux de raisins noirs. Se basant sur les rendements qu'il a obtenus et sur la récolte moyenne du vin en France, il évalue à 25 ou 30 millions de kilogrammes d'huile la perte annuelle qui résulte pour notre pays du défaut d'utilisation des pépins de raisins pour cet usage. Les chiffres de M. Vidal sont certainement trop élevés.

L'huile obtenue, de coloration jaune ou verdâtre, assez semblable à celle de l'huile d'olive, brûle sans fumée et, par suite, convient parfaitement pour l'éclairage. On en tire également un parti avantageux pour le graissage et la fabrication des savons. Très âcre, elle n'est pas comestible.

---

1. *Le Progrès agricole et viticole*. Montpellier, 21 mars 1897.

D'après Décugis, les tourteaux de pépins de raisins que laisse l'extraction de l'huile présenteraient la composition suivante :

Eau	10,40
Matières azotées	13,84
Matières grasses	10,60
Extractifs non azotés	31,56
Cellulose	27,00
Cendres	6,60
	100,00

Avec 2,31 p. 100 d'azote, ils renfermeraient 0,66 p. 100 d'acide phosphorique. Sous le rapport de la valeur fertilisante, comme sous celui de la valeur nutritive, ils sont donc inférieurs à la plupart des autres tourteaux, mais, en raison de leur prix faible ou nul, on a tout avantage, sur les lieux de production, à les employer comme engrais ou pour l'alimentation du bétail. Les animaux les acceptent très facilement ; les moutons surtout les consomment avec avidité, comme ils consomment d'ailleurs les pépins entiers isolés des marcs. C'est un bon aliment pour les vaches laitières et les essais faits, à cet égard, tant en Italie que dans le midi de la France, ont démontré qu'on pouvait leur en donner sans inconvénient jusqu'à 6 kilogr. par jour. La substitution partielle, en proportions convenables, à des produits plus riches, tourteaux de lin par exemple, a donné d'excellents résultats économiques.

Le tourteau de pépins est assez souvent utilisé comme combustible ; on s'en sert parfois aussi, paraît-il, après broyage, pour falsifier le café moulu.

Caractères de la graine.

a) **Examen macroscopique.** — Le pépin de raisin est piriforme, aplati sur la face ventrale, que divise en deux parties, formant fossettes, un raphé plus ou moins marqué ; à l'extrémité du bec qu'il présente, court ou allongé suivant les variétés, se trouve le hile. Chaque grain de raisin renferme d'une à quatre graines ; quelques variétés (*corinthe, sultanina*) en sont dépourvues.

Les caractères de la graine sont assez nets pour permettre de dis-

tinguer les espèces avec certitude. Dans le *Vitis vinifera*, le bec est allongé, la chalaze placée au tiers supérieur ; elle se trouve au milieu ou au tiers inférieur dans tous les autres *Vitis*, dont le bec est court. Le *Vitis labrusca* n'a pas de chalaze et une dépression remplace le raphé. Dans le *Vitis æstivalis*, chalaze et raphé sont proéminents (Viala).

Voici les poids et les dimensions que nous avons déterminés pour quelques espèces ; il n'est pas inutile de faire remarquer qu'ils peuvent différer sensiblement pour des cépages issus d'une même espèce, (les chiffres relatifs au *york-madeira* et à l'*othello*, deux variétés du *Vitis labrusca*, le démontrent).

	POIDS de 100 graines. — Grammes.	LONGUEUR moyenne. — Millimètres.	LARGEUR moyenne. — Millimètres.
Vitis vinifera (Keropodia — Grèce) . .	3,755	6,0 à 6,2	3,5 à 4,0
— *Riparia*	1,555	3,5 à 4,5	2,5 à 3,2
— *Rupestris*.	2,720	4,5	3,6 à 3,8
— *Æstivalis*.	2,805	5,0 à 5,5	3,6 à 3,8
— *Berlandieri*.	4,135	4,8 à 6,0	3,5 à 4,5
— *Labrusca*.	5,650	6,0 à 7,0	4,3 à 4,8
York-Madeira	4,435	6,0 à 6,8	4,2 à 4,6
Othello	4,225	6,0 à 6,8	3,9 à 4,1

Le pépin de raisin, très dur, est constitué par un albumen huileux revêtu d'un test crustacé, avec une enveloppe épidermique riche en tanin. Broyé sous la dent, la saveur en est âcre et amère.

b) **Examen microscopique**. — Le tégument de la graine de vigne présente une épaisseur variable avec les espèces, mais qui atteint facilement 150 à 200 μ.

Il est constitué par deux régions d'importance à peu près égale ; la première (*planche V — fig. 40, a*) provient du tégument externe de l'ovule ; elle est formée par des cellules à membranes minces, qui contiennent des produits divers : tanins, extraits raphides d'oxalate de calcium (*r*). La couche interne (*b*), nettement séparée de la précédente, comprend des cellules allongées dans le sens radial, avec des membranes épaissies et finement ponctuées, de coloration jaune foncé.

En examinant une section tangentielle, on retrouve sur les membranes des cellules de cette zone, assez régulièrement polygonales, les fines ponctuations dont il vient d'être question. Elles sont très caractéristiques (*planche V — fig. 41*).

Dans les cellules du tissu cotylédonaire se trouvent des cristaux d'oxalate de calcium, disposés en rosette, et des grains d'aleurone qui sont parmi les plus gros connus.

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique.** — Le tourteau de pépins de raisins se présente sous la forme de gros pains, de couleur brunâtre ou grisâtre, faciles à émietter et même à réduire en poussière. La cassure en est finement grenue ou farineuse, la texture très homogène, avec des éléments peu distincts. Saveur âcre et amère.

b) **Examen microscopique.** — Ce tourteau se délite rapidement dans l'eau. Par des décantations successives, on sépare aisément la gangue grisâtre, formée des débris de l'albumen et de l'embryon, des fragments de l'enveloppe. On obtient ainsi des pellicules nombreuses, qui, examinées par transparence, permettent de retrouver les caractères indiqués précédemment.

CUPULIFÈRES

FAINE

La *faîne* est le fruit (achaine, vulgairement désigné sous le nom de graine) du *hêtre commun* (*Fagus sylvatica* L.), l'une de nos plus importantes essences forestières. Dans l'est et le nord-est de la France, ainsi que dans les régions avoisinantes de l'Allemagne et de la Belgique, où le hêtre abonde, de petites huileries traitent la faîne pour en extraire l'huile. L'amande, dépouillée de son enveloppe (péricarpe) en contient de 40 à 50 p. 100 ; dans la pratique, on ne tire que 15 à 18 kilogr. d'huile de 100 kilogr. de faînes sèches non décortiquées.

Extraite à froid, l'huile de faîne offre une saveur agréable ; elle

est comestible et très appréciée sous ce rapport dans les régions de production. Très âpre, au contraire, celle qu'on obtient à chaud ne sert qu'aux usages industriels. L'une et l'autre rancissent lentement.

Les tourteaux de faînes se présentent sous deux formes : décortiqués et non décortiqués ; les derniers sont de beaucoup les plus communs, mais, en raison de la forte proportion de cellulose qui s'y trouve, leur valeur est très inférieure à celle des tourteaux décortiqués.

L'analyse chimique des uns et des autres met en évidence cette infériorité ; voici les résultats qu'elle a fournis à Dietrich et König :

	TOURTEAU	
	brut.	décortiqué.
Eau	16,1	12,5
Matières azotées	18,2	37,1
Matières grasses	8,3	7,5
Extractifs non azotés	28,3	29,7
Cellulose	23,9	5,5
Cendres	5,2	7,7
	100,00	100,00

D'autre part, si le tourteau de faînes décortiquées peut entrer avantageusement dans les rations alimentaires de tous les animaux de la ferme, qui l'acceptent volontiers, il n'en est pas de même du tourteau brut. A maintes reprises, des accidents causés par ce tourteau ont été signalés, tant en France qu'en Allemagne. Voici comment Cornevin s'exprime sur ce sujet : « Il y a deux siècles, Laurent Rusé signalait déjà l'avortement chez la jument comme une conséquence de la distribution de ces tourteaux. Avant lui, le botaniste Bauhin, qui vivait au seizième siècle, avait dit que les faînes produisent une sorte d'ivresse sur les chevaux. Dans le courant de ce siècle, des vétérinaires de l'est de la France et d'Allemagne ont attiré à nouveau l'attention sur la possibilité de ces accidents. Ils sont dus à un principe vénéneux, encore mal connu chimiquement. Zanon lui a imposé le nom de *fagine* et l'a présenté comme un alcaloïde spécial, mais cet alcaloïde n'a pas été généralement accepté. De nouvelles recherches sont nécessaires pour déterminer définitivement le principe nocif. Il est à peu près certain que ce principe est localisé dans l'en-

veloppe péricarpoïde, car la consommation de l'huile de faînes n'a jamais occasionné d'accidents. Les tourteaux décortiqués sont inoffensifs comme l'huile elle-même ; la pratique l'a fait voir et une expérience de Magne l'a démontré.

« De tous les animaux domestiques, les équidés sont les plus sensibles à l'action nuisible des résidus non décortiqués du hêtre ; en vertu de leur organisation et conformément à ce que nous voyons pour la plupart des toxiques, les ruminants le sont moins. »

Cette résistance des ruminants atteint à la presque complète immunité quand les quantités de tourteaux ingérées ne dépassent pas celles qu'on emploie généralement pour ces produits. En voici un exemple probant : M. Fagot, sénateur des Ardennes, lauréat de la prime d'honneur, fait consommer, dans sa ferme de la Haute-Maison, du tourteau de faînes non décortiquées à ses bœufs et à ses vaches, dans les années où la récolte des faînes est suffisamment abondante. Ces tourteaux sont distribués quotidiennement pendant toute la période de fabrication, d'une durée de deux à trois mois. Chaque bête reçoit de 2 à 3 kilogr. de tourteau par jour. M. Fagot n'a jamais constaté chez celles-ci le moindre accident ; il nous a, d'autre part, signalé ce fait que certains fabricants d'huile de sa région, en même temps cultivateurs, engraissent leurs moutons en les nourrissant à peu près exclusivement avec des tourteaux de faînes.

D'expériences relatées assez récemment par le journal *Chasse et Pêche,* il ressort que, chez le taureau, 100 livres de faînes données en seize jours et 84 livres de tourteaux donnés en dix jours n'ont produit aucun effet fâcheux. Par contre, 250 faînes distribuées en deux jours à une chèvre l'ont rendue malade et lui ont donné la fièvre. Les moutons n'ont pas voulu toucher à cet aliment, tandis que les lapins et les cochons d'Inde l'ont consommé sans répugnance et sans inconvénient pendant les quatre jours qu'a duré l'expérience.

Pour le cheval, il y a d'abord goûté avec satisfaction, puis il l'a refusé obstinément. Chez lui, en effet, les faînes déterminent des coliques et de la diarrhée, et souvent de la fièvre ; même, un poulain de neuf mois, pour avoir mangé deux livres de faînes en deux fois, à quatre jours d'intervalle, a été pris de troubles respiratoires, de crampes et de spasmes à la suite desquels il est mort.

Le *Journal d'agriculture pratique* de 1840 a signalé que l'ingestion d'un kilogramme de tourteau de faînes brutes amena la mort d'un cheval en deux heures; celle d'un demi-kilogramme, en deux jours et demi.

Les symptômes de l'empoisonnement par le tourteau de faînes sont assez semblables à ceux que provoque l'ivraie enivrante.

Il faut conclure de cet exposé un peu long, mais nécessaire pour la mise au point d'une question encore fort controversée, que le tourteau de faînes non décortiquées, manifestement toxique pour le cheval, doit être absolument proscrit de son alimentation. En ce qui concerne celle des ovidés, il est tout au moins suspect et l'abstention convient peut-être. Il semble au contraire devoir être accepté dans les rations destinées aux bêtes à cornes; cependant, pour ces animaux mêmes, quelque circonspection dans son emploi s'impose.

Administrés à l'état sec, les tourteaux décortiqués provoquent, dit-on, de la constipation; on les donnera donc de préférence en buvées.

Avec une moyenne de 3,85 p. 100 d'azote, de 1,05 d'acide phosphorique et une faible quantité de potasse, le tourteau de faînes brutes n'a, parmi les produits de ce genre, qu'une richesse relativement faible en éléments fertilisants; celle du tourteau décortiqué est plus élevée : il titre environ 5 p. 100 d'azote.

Dans les régions où le hêtre est commun, le tourteau de faînes brutes sert assez fréquemment de combustible.

Les tourteaux de faînes rancissent lentement, mais ils se couvrent de moisissures avec une facilité qui en rend la conservation malaisée.

Leur production est irrégulière, les récoltes de faînes se montrant très inégales suivant les années. On compte que les faînées abondantes, généralement périodiques, se reproduisent à peu près tous les trois ans sous nos climats, tous les cinq à six ans seulement dans les contrées froides ou les hautes altitudes.

Caractères du fruit.

a) **Examen macroscopique.** — La faîne est un achaine trigone, à angles saillants, pointu à une extrémité, obtus à l'autre, où figure la cicatrice du point d'attache. Ses dimensions sont les suivantes : lon-

gueur, 12 à 20 millimètres; largeur, 8 à 10. Le péricarpe, lisse et brillant, de couleur brune et de consistance membraneuse, est garni, surtout vers son sommet, de poils courts et soyeux; il enveloppe une graine de même forme, revêtue d'un tégument très mince, brun foncé, et formée de deux cotylédons plissés irrégulièrement, s'emboîtant l'un dans l'autre (*fig. VIII*).

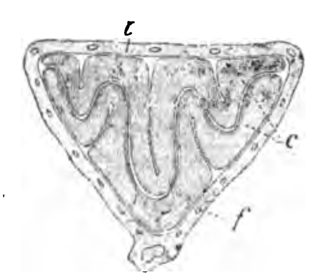


Fig. VIII. — Faîne (*Fagus sylvatica*). Section transversale du fruit. *t*, tégument; — *f*. faisceau libéro-ligneux; *c*, cotylédons.

La saveur de l'amande, oléagineuse et féculente, est douce, agréable, et rappelle un peu celle de la noisette.

1 000 faînes sèches pèsent environ 220 grammes.

b) **Examen microscopique.** — Le péricarpe de la faîne est constitué par deux couches cellulaires très distinctes.

La région externe (*planche V — fig. 47, a*) comprend des cellules scléreuses, allongées dans le sens du grand axe de la graine. Ces cellules ont de 30 à 55 μ de section transversale; leur membrane est épaisse, hyaline, pourvue de nombreux canalicules et de stries concentriques. L'épaisseur de cette couche atteint de 120 à 150 μ.

La zone interne (*b*), d'épaisseur presque égale, est formée de cellules irrégulières dont beaucoup sont allongées perpendiculairement aux premières, peu épaissies et fortement colorées en brun. Écrasées les unes contre les autres, elles constituent une couche épaisse, dans laquelle les membranes sont à peine distinctes.

La graine est recouverte par un mince tégument, dans lequel nous signalerons seulement la présence de nombreux poils épidermiques, unicellulaires, légèrement colorés en brun et très allongés (jusqu'à 2 millimètres de longueur). Ces poils sont creux et habituellement vides de tout contenu ; parfois pourtant, leur cavité est remplie par endroits de granulations protoplasmiques brunes, assez foncées.

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique.** — Le tourteau de faînes brutes affecte la forme de pains épais, de 5 à 6 centimètres et plus de hauteur ; il

a une couleur brun fauve et présente de très nombreux fragments de coques, brun pâle, luisants, assez volumineux. Cassure irrégulière, lamelleuse, à aspérités marquées, formées par ces débris. Dur en pains entiers, ce tourteau est assez friable une fois fragmenté ; il se désagrège facilement dans l'eau. La saveur en est douce, agréable ; son odeur a quelque analogie avec celle du lait aigri.

Dans le tourteau décortiqué, de coloration brunâtre, les débris du péricarpe sont rares, mais il en subsiste toujours un certain nombre, faciles à retrouver.

b) **Examen microscopique.** — L'examen de coupes transversales, effectuées sur des fragments de péricarpe encore inclus dans le tourteau ou isolés par les méthodes précédemment indiquées, fixe immédiatement sur la nature de ceux-ci. On trouve même, avons-nous dit, des débris de cette nature dans le tourteau décortiqué ; pour ce dernier, beaucoup plus que pour l'autre, on tirera d'utiles indications des caractères du tégument séminal et de la présence de poils tecteurs, les uns courts, provenant du péricarpe, les autres longs, à nombreuses granulations centrales, fixés primitivement sur l'épiderme du tégument.

NOISETTE

Dans les années où la production en est abondante, les fruits du noisetier (*Corylus avellana* L.), débarrassés au préalable de leur péricarpe, dur et très résistant, sont soumis à la pression, pour extraire l'huile qu'ils renferment dans la proportion de 55 à 60 p. 100.

L'huile de noisette est siccative, comestible, mais peu recherchée pour la table ; elle trouve surtout son emploi en pharmacie et en parfumerie et sert souvent à falsifier l'huile d'amandes douces.

Le tourteau de noisette, à pâte fine et homogène, peut être utilisé pour l'alimentation du bétail. Il est assez difficilement accepté par les animaux ; aussi mélange-t-on habituellement les noisettes à des noix lors de la seconde pression, pour obtenir un tourteau mixte, plus appété.

Les débris du péricarpe de la noisette, éliminés avant le traitement

pour l'extraction de l'huile, ne se retrouvent pas dans le tourteau. C'est le tégument de la graine qui en constitue l'élément le plus caractéristique. Celui-ci, très mince, de coloration brun foncé, se distingue aisément dans la pâte du tourteau, où il subsiste à l'état de débris aplatis, plus ou moins larges.

Par simple transparence, ces débris se montrent formés de plusieurs assises de cellules très petites, à membranes minces, mais à contenu fortement coloré en brun. Des faisceaux libéro-ligneux circulent dans ce tissu et se manifestent par l'abondance des trachéides déroulables que l'on observe sur toutes les parcelles. L'amande elle-même est limitée extérieurement par deux ou trois assises de cellules, remplies de grains d'aleurone et de matière grasse ; ces cellules représentent ce qui subsiste de l'albumen. Vient ensuite le parenchyme cotylédonaire, dont la structure n'offre aucun intérêt, au point de vue de la détermination spécifique.

AMYGDALÉES

AMANDES

L'amandier (*Amygdalus communis* L.), qui croît à l'état subspontané dans toute la région méditerranéenne, et dont la zone de culture est à peu près la même que celle de la vigne, a donné naissance à deux variétés dont quelques auteurs ont fait des espèces distinctes ; l'une (*A. communis* var. *dulcis*) fournit les amandes *douces*; l'autre (*A. communis* var. *amara* D. C.) donne les amandes amères ; cette dernière est peu cultivée.

Les fruits de toutes deux, débarrassés de leur péricarpe ou *coque*, renferment de 50 à 55 p. 100 d'une huile très douce, recherchée par les parfumeurs et les pharmaciens.

Les amandes amères contiennent deux produits : l'*amygdaline* et l'*émulsine*, qui ne sont pas nuisibles isolément, mais qui, ingérés ensemble, réagissent l'un sur l'autre par fermentation, donnent naissance à de l'essence d'amandes amères et à de l'acide cyanhydrique ou acide prussique. Aussi ces fruits exercent-ils sur l'organisme la même action que l'acide prussique et peuvent-ils causer

des empoisonnements mortels. L'intoxication qu'ils déterminent se traduit par des convulsions, l'accélération de la circulation et de la respiration, puis un ralentissement de ces deux fonctions, la prostration et la paralysie.

Les principes toxiques se retrouvent dans le tourteau ; aussi ne saurait-il être question de le donner aux animaux ; une seule poignée suffit, assure-t-on, pour déterminer la mort d'une vache. D'ailleurs, en raison de l'usage qu'on en fait en parfumerie pour la préparation de la pâte d'amandes, son prix est beaucoup trop élevé pour qu'il puisse entrer avantageusement dans l'alimentation du bétail.

Les amandes douces ne renferment que de l'émulsine et pas d'amygdaline ; elles n'offrent donc pas les mêmes dangers que les amandes amères, et l'on sait quelle place elles tiennent parmi les fruits de table. La valeur marchande qu'elles acquièrent de ce fait les rend moins facilement utilisables pour l'industrie et les tourteaux en sont plus rares. Ils pourraient servir à la nourriture du bétail s'ils n'avaient, comme ceux d'amandes amères et pour la même cause, un prix trop élevé. Leur composition est la suivante :

Eau	9,59
Matières azotées	41,38
Matières grasses	15,15
Extractifs non azotés	20,63
Cellulose	8,94
Cendres	4,31
	100,00

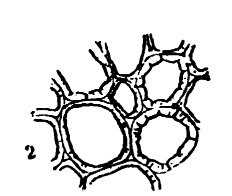


Fig. IX. — Amande amère (*Amygdalus communis*). Cellules scléreuses en sections transversale (1) et tangentielle (2). — Gr. : 200 d.

Caractères du tourteau.

Le tourteau ou *pâte d'amandes* se présente sous la forme d'une poudre d'un gris rougeâtre. On y distingue à l'œil nu, et plus aisément à la loupe, des débris bruns de spermoderme qui, examinés au microscope, se montrent formés de grandes cellules scléreuses, jaunes, munies de ponctuations nombreuses (*fig. IX — 1-2*).

Il n'existe pas d'amidon dans le tourteau d'amandes ; celui de

cacao, auquel on le mélange quelquefois, paraît-il, en renferme, au contraire [1].

Traité par l'eau, le tourteau d'amandes amères dégage l'odeur caractéristique de l'essence de ce nom.

ABRICOTS ET NOYAUX DIVERS

De l'amande de l'abricot, fruit du *Prunus armeniaca* L., ou *Armeniaca vulgaris* Lam., on extrait une huile qui ressemble à celle d'amandes et qu'on substitue fréquemment à cette dernière. Les noyaux d'abricots importés de Syrie à Marseille servent surtout à la production de cette huile, en même temps qu'à celle d'*essence de noyaux,* livrée couramment dans le commerce sous le nom d'essence d'amandes amères.

Dans quelques départements du midi de la France, où l'abricot est commun, les noyaux servent sur place à l'extraction d'huile.

Les tourteaux obtenus dans l'un et l'autre cas sont dangereux pour le bétail. Ils renferment les mêmes principes que les tourteaux d'amandes amères et peuvent causer les mêmes accidents. Ils ne pourraient être employés qu'à petites doses et le bénéfice qu'on tirerait de cet emploi ne compenserait pas les risques qu'il ferait courir.

La même remarque s'applique aux tourteaux provenant de la pression d'amandes de pêches, de prunes ou de cerises.

OLÉACÉES

OLIVE

L'olivier (*Olea europœa* L.) et son fruit charnu, l'olive, sont trop connus pour qu'il soit utile de les décrire ici. L'arbre est cultivé dans toute la région méditerranéenne, aussi bien en Afrique et en Asie que dans le midi de l'Europe. En France, il n'occupe qu'une zone très limitée et sa production n'acquiert une réelle importance

1. Villiers et Collin, *Altérations et falsifications des substances alimentaires*, Paris, 1900.

qu'en Provence et en Corse. En Tunisie, la culture de l'olivier a pris une extension considérable dans ces dernières années.

On sait la place très accessoire que l'olive tient dans l'alimentation de l'homme. Son rôle comme fruit oléagineux est, au contraire, de première importance. L'huile est extraite de la pulpe extérieure et de l'amande que renferme le noyau dur situé au centre de la drupe.

Broyées à l'aide de meules, les olives sont réduites en une pâte que l'on soumet à l'action des presses. On en tire ainsi 14 à 15 p. 100 d'huile fine, huile vierge ou *de première pression*, de couleur jaune ambré ou jaune verdâtre et de saveur fruitée, considérée comme la meilleure de toutes les huiles de table.

On obtient comme résidu un tourteau dit *grignon*, qui renferme à la fois des fragments de noyaux, des débris de pulpe et d'épiderme.

Voici la composition de deux de ces tourteaux, préparés en Tunisie avec des olives de variétés différentes et analysés à la sortie des presses ([1]).

	VARIÉTÉS	
	Chetoui.	Chemlali.
Eau	29,98	26,88
Matières protéiques	3,51	4,16
Matières grasses	15,40	14,77
Extractifs non azotés	31,73	29,20
Cellulose	16,04	22,98
Cendres	3,34	2,01
	100,00	100,00

Dans un grignon sec (il contenait seulement 11,7 p. 100 d'eau), Wolff a trouvé 7,2 p. 100 de protéine et 33.7 p. 100 de cellulose.

Pauvre en azote et parsemé de nombreux fragments de noyaux, très résistants et capables, par leurs aspérités, d'irriter l'intestin des animaux, le grignon d'olive n'a qu'une valeur alimentaire très médiocre. Cependant on l'utilise quelquefois, en Tunisie notamment, pour l'engraissement des moutons et des porcs. Il peut également servir à la nourriture des ânes et des chèvres.

Sa faible teneur en matières fertilisantes et la lenteur avec laquelle

1. Milliau, Bertainchand et Malet. « Rapport sur les huiles d'olive en Tunisie » (*Bulletin de la Direction d'Agriculture de Tunisie*, janvier 1900). »



il se décompose dans le sol en font, d'autre part, un engrais peu apprécié. Dans les régions de production, on préfère l'employer comme combustible. Mais, le plus souvent, il est vendu à des établissements spéciaux pour l'extraction de l'huile de *ressence*. Repassé sous les meules, puis délayé et battu dans l'eau, on en sépare les débris de noyaux qui, plus lourds, tombent au fond des bassins, dont on les retire pour les utiliser comme combustible. La pulpe et l'huile qui surnagent, recueillis ensemble, sont soumis à l'ébullition, puis à une nouvelle pression, qui fournit 14 à 16 p. 100 d'une huile employée en savonnerie à l'état brut, ou pour l'éclairage, lorsqu'elle a été filtrée.

Le tourteau ou pulpe de « ressence », qui provient de ce traitement offre, d'après Décugis, la composition suivante :

Eau	13,85
Matières azotées	6,06
Matières grasses	29,15
Extractifs non azotés . . .	42,46
Cellulose.	6,00
Cendres	2,48
	100,00

Ce tourteau est assez souvent employé pour la nourriture des moutons et des porcs. A l'état frais, les animaux le reçoivent avec plaisir, mais il rancit rapidement et il faut alors, pour le leur faire accepter, le mélanger avec du son ou du foin haché et humecter la masse soit avec de l'eau pure, soit avec un bouillon de figues.

Très riche encore en matières grasses, le tourteau de ressence est souvent traité par le sulfure de carbone dans le but de l'épuiser. On en tire ainsi de 15 à 20 p. 100 d'huile de *pulpe*, employée dans la savonnerie, et un résidu dit tourteau de ressence *repassé*. A ce dernier, Décugis attribue la composition ci-dessous :

Eau.	8,10
Matières azotées	10,25
Matières grasses	11,48
Extractifs non azotés . . .	57,11
Cellulose	8,06
Cendres	5,00
	100,00

Le tourteau de ressence repassé est le plus souvent utilisé comme combustible ou comme engrais. On peut le faire entrer dans les rations pour le bétail, mais c'est un aliment pauvre et de valeur médiocre.

Caractères du tourteau.

a) **Examen macroscopique.** — Le *grignon d'olive* se présente en morceaux irréguliers, de faible épaisseur ; leur couleur est brunâtre, leur texture feuilletée ; on y retrouve de nombreux débris de noyaux noyés dans une gangue constituée par l'épiderme et la pulpe du fruit. Frais, il offre la saveur douce de l'huile d'olive, mais il rancit facilement.

Le *tourteau de ressence*, privé de ces débris, est en masses également brunâtres, sans consistance, grasses au toucher, à texture lamelleuse.

Le *tourteau de ressence repassé* présente les mêmes caractères, mais il a une couleur plus foncée et paraît sec au toucher.

b) **Examen microscopique.** — Faciles à séparer du tourteau par macération dans l'eau suivie de décantations, les fragments de noyaux, examinés au microscope sur une coupe transversale, apparaissent constitués par des cellules scléreuses étroitement serrées les unes contre les autres et orientées dans tous les sens ; la paroi en est canaliculée, le lumen étroit et irrégulier.

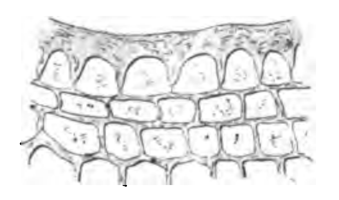


Fig. 10. — Olive (*Olea europæa*). Couche externe du péricarpe.

Vendue dans le commerce sous le nom de *poivrette*, la poudre de noyaux d'olives, blanche ou grise, sert à falsifier les poivres de même couleur. Pour la reconnaissance de ce produit, MM. Collin et Perrot (1) signalent, en outre du tissu scléreux dont nous venons de parler, « la disposition de l'assise externe de la graine, qui est formée de grandes cellules polygonales, colorées en

1. *Les résidus industriels utilisés par l'agriculteur comme aliments et comme engrais*. Paris, 1904.

jaune pâle, munies de parois assez épaisses et bosselées; cette assise est généralement accompagnée du tissu sous-jacent, représenté par des cellules polygonales contenant de petits cristaux aiguillés. »

Dans la gangue des tourteaux d'olive, on retrouve des pellicules provenant du péricarpe, formées de cellules irrégulières, à membranes minces, limitées extérieurement par un épiderme fortement cutinisé, hyalin, de couleur légèrement verdâtre (*fig. X*).

TOURTEAUX RARES

Le nombre des espèces dont les fruits ou les graines renferment de l'huile en quantité suffisante pour justifier des traitements d'extraction est élevé. Dans l'étude formée par les trois mémoires que nous avons publiés sur les « Tourteaux de graines oléagineuses », nous avons passé en revue successivement tous ceux qui ont quelque importance dans nos régions, qu'ils s'y trouvent fabriqués ou seulement importés. Il en existe beaucoup d'autres dont la production et l'utilisation, toutes locales, sont, par ce fait, généralement ignorées. Nous en citerons quelques-uns.

Crucifères. — Cette famille est une des plus riches en graines oléagineuses. On prépare, en très petite quantité, de l'huile d'*arabette* (*Arabis sagittata* D. C.), de *cresson alénois* (*Lepidium sativum* L.), de *tabouret des champs* (*Thlaspi arvense* L.), etc. La plupart de ces espèces contiennent de 20 à 25 p. 100 d'huile ; leurs tourteaux, lorsqu'ils ne sont pas dangereux, présentent cependant, en général, l'inconvénient de communiquer une saveur d'ail au lait et au beurre.

Ombellifères. — De l'*anis* (*Pimpinella Anisum* L.), du *carvi* (*Carum Carvi* L.), des *fenouils* (*Fœniculum dulce* D. C. et *Fœniculum vulgare* Gærtn.), de la *coriandre* (*Coriandrum sativum* L.), du *cumin* (*Cuminum cyminum* L.), on tire des huiles essentielles, employées en pharmacie et en parfumerie. L'*ajowan* (*Ptychotis Ajowan* D. C., *Carum Ajowan* Bent. et Hook), cultivé aux Indes, en Perse et en Égypte, sert à l'obtention du thymol. En Allemagne,

où ces huiles sont surtout préparées, les résidus de leur fabrication, préalablement desséchés, servent à la nourriture des animaux. Ils sont très riches en substances azotées (1).

Malvacées. — Sous le nom de *kapok,* on désigne deux espèces très voisines de malvacées : l'*Eriodendron anfractuosum* D. C., ou *Bombax pentandrum* L., commune à Java, dans les Indes anglaises, aux Antilles, en Guyane, en Afrique, et le *Bombax malabaricum* D. C., ou *Bombax Ceiba* L., qu'on trouve surtout en Australie et dans les Indes occidentales. La première est de beaucoup la plus importante. Toutes deux fournissent des tourteaux qui, très rarement importés chez nous, sont, au contraire, d'un emploi assez fréquent en Allemagne. Ces tourteaux ont les mêmes propriétés et conviennent aux mêmes usages que ceux de coton.

Les analyses faites à la station de Wageningen ont établi que neuf tourteaux d'*Eriodendron* présentaient la composition suivante :

	MOYENNE. — P. 100	MINIMUM. — P. 100	MAXIMUM. — P. 100
Eau	13,6	12,4	14,5
Matières azotées	28,4	26,4	29,8
Matières grasses	7,9	5,8	10.7
Extractifs non azotés. . .	17,5	13,7	19,9
Cellulose	26,1	22,2	29,7
Cendres.	6,4	6,0	7,5

Cette composition se rapproche beaucoup de celle des tourteaux de coton non décortiqués.

L'apparence extérieure de la graine et sa structure anatomique ont aussi une grande analogie avec celles de la graine de coton. Quelques caractères précis permettent cependant de différencier facilement les deux espèces.

La graine de kapok (*fig. XI* — 1), piriforme et déprimée latéralement, présente une caroncule conique, à l'extrémité de laquelle se trouve le hile. La coloration en est brune, beaucoup plus claire sur la caroncule. Les graines que nous avons examinées et qui nous ont

1. Uhlitzsch, *Rückstande der Fabrikation ätherischer Oele. — Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen.* Bd. 42.



été remises par M. Poisson, aide-naturaliste au Muséum, proviennent du Dahomey. Elles sont entourées de longs et nombreux filaments soyeux, brunâtres. Ces filaments sont, comme on le sait, des poils utilisés industriellement. Contrairement à ce qui existe chez le coton, ils ne sont pas insérés sur le tégument de la graine, mais sur les cellules de l'endocarpe, dont ils se détachent d'ailleurs facilement.

Les dimensions moyennes des graines de kapok sont les suivantes : longueur 6 millimètres, largeur 5mm,3, épaisseur 4mm,15. Cent de ces graines pèsent 6gr,500.

Fig. XI. — Kapok (*Eriodendron anfractuosum* D. C.)
1, Aspect extérieur de la graine. — 2 et 3, sections transversale et tangentielle du tégument. — Gr. : 200 d.

Leur examen microscopique révèle les caractères suivants (*fig. XI — 2* et *3*). Le tégument possède une épaisseur totale de 180 à 200 μ ; il comprend trois couches de cellules se séparant assez facilement les unes des autres. La couche épidermique (*a*), dont la surface présente une apparence chagrinée, est formée de cellules à membranes fortement colorées en brun, unies entre elles par des contours sinueux ; elles se désagrègent facilement. Viennent ensuite des cellules parenchymateuses, à membranes hyalines, contenant parfois des cristaux d'oxalate de calcium.

La seconde couche (*b*) de 80 à 100 μ d'épaisseur, a une apparence cornée, une coloration légèrement brune. Elle est constituée par des cellules scléreuses, disposées parallèlement, allongées dans le sens transversal du tégument et très fortement épaissies, surtout sur leur face interne. Vues de face (*fig. XI — 3*), elles paraissent écrasées les unes contre les autres, avec un lumen très réduit, étoilé. Appliquée intérieurement contre cette assise, se trouve une couche parenchymateuse (*c*), brun foncé, écrasée par le développement des cotylédons, qui sont immédiatement en dedans. Signalons seulement, chez ceux-ci, l'absence de poches oléagineuses dans leur parenchyme ; il en existe au contraire chez le coton.

Sapindacées. — Le *marron d'Inde,* fruit de l'*Æsculus hippocastanum* L., renferme environ 7 p. 100 d'huile. Le tourteau qu'il fournit, riche en amidon, possède une amertume très accentuée. L'un de nous (1) a signalé jadis que les marrons d'Inde pouvaient être donnés sans inconvénient au bétail. Depuis, les expériences de Flahaut, de Cornevin, de Samson et Gay ont confirmé cette assertion. La cuisson ou la macération dans l'eau, avec rejet du liquide, atténuent beaucoup l'amertume du produit et sa toxicité pour les oiseaux de basse-cour. Cette observation s'applique au tourteau comme au fruit lui-même.

Célastracées. — La graine du *fusain* (*Evonymus europæus* L.) contient près de 40 p. 100 d'huile. Le tourteau qu'on en retire est dangereux ; il jouit de propriétés émétiques et purgatives.

Ribésiacées. — Les tourteaux obtenus avec les graines des différents *groseilliers* (*Ribes*) peuvent être comparés aux tourteaux de pépins de raisins.

Cornacées. — La graine du *cornouiller sanguin* (*Cornus sanguinea* L.) renferme une huile propre à l'éclairage, mais peu abondante. Le tourteau est amer et astringent.

Caprifoliacées. — Les populations voisines de la Forêt-Noire extraient des graines du *sureau* (*Sambucus nigra* L.) la matière grasse qu'elles contiennent dans la proportion de 25 p. 100 environ. On attribue au tourteau des propriétés éméto-cathartiques.

Solanacées. — D'après Décugis, les graines de la *belladone* (*Atropa belladona* L.) servent, dans la Souabe et le Wurtemberg, à l'obtention d'une huile douce. Riches en atropine, les tourteaux de belladone sont très vénéneux.

Euphorbiacées. — Deux espèces de cette famille sont surtout intéressantes.

L'*abrasin* ou *faux bancoulier* (*Aleurites cordata* Thunb.) est un arbre qui croît spontanément dans les forêts de l'Indo-Chine et dont

1. Bussard, *Journal d'agriculture pratique*. 1887.

on fait aussi l'objet de cultures spéciales. Son aspect rappelle celui du figuier. Son fruit, assez semblable comme apparence et comme grosseur à celui du noyer, est à trois valves renfermant chacune une graine à amande oléagineuse. De celle-ci, on extrait, par pression, 50 à 60 p. 100 d'une huile fluide, siccative, qui sert à l'imperméabilisation des papiers, à la fabrication des vernis et de la laque, et à la préparation d'un noir de fumée qui entre dans la composition des meilleures encres de Chine (1).

Les tourteaux d'abrasin présentent la composition suivante :

Eau.	11,80 p. 100
Matières azotées	35,50 —
Matières grasses	1,42 —
Extractifs non azotés . . .	26,58 —
Cellulose	13,60 —
Cendres	11,10 —

Riches en azote (5,58 p. 100), avec une proportion appréciable d'acide phosphorique (1,51 p. 100) et de potasse (1,08), ces tourteaux constituent un excellent engrais. Comme tous ceux qu'on tire des plantes de cette famille, ils sont dangereux pour le bétail.

Cette remarque s'applique également aux tourteaux d'*épurge* (*Euphorbia lathyris* L.). Des semences de la plante, indigène dans le midi de l'Europe et assez commune en France, on tire de 35 à 40 p. 100 d'une huile très fluide, jaune pâle ou brun clair, douce après l'extraction, mais qui rancit très rapidement ; elle diffère des huiles de croton et de ricin par sa complète insolubilité dans l'alcool. Ses propriétés purgatives sont utilisées en thérapeutique. On l'emploie aussi pour l'éclairage et la fabrication des savons.

Lauracées. — Des fruits du laurier (*Laurus nobilis* L.), on extrait une huile grasse, concrète et fusible seulement à 38°, de couleur verte, accompagnée d'une huile essentielle. Cette matière grasse est employée en médecine et particulièrement dans la thérapeutique vétérinaire. Le tourteau serait dangereux pour le bétail, comme le fruit lui-même, dont il conserve les propriétés narcotiques.

1. Ch. Crevost, « L'abrasin et le bancoulier ». *Bulletin économique de l'Indo-Chine*. 4e année, n° 40.

Myrtacées. — La *noix de Para* ou *châtaigne du Brésil* est le fruit du *Bertholletia excelsa* Humboldt, arbre de l'Amérique centrale et notamment des Guyanes. Elle renferme environ 65 p. 100 d'huile, dont on se sert pour un grand nombre d'usages et surtout en parfumerie. Cette noix, comestible, à saveur agréable à l'état frais, fournit un tourteau qui convient à l'alimentation des animaux ; il est avantageusement employé dans ce but en Guyane et en Portugal.

Palmiers. — Le fruit de l'*Areca catechu*, qui croît dans les îles de la Sonde, est désigné sous le nom de *noix d'arec*. Il ne renferme qu'une très faible proportion d'huile et doit à la présence d'alcaloïdes spéciaux ses propriétés tænicides, utilisées en médecine. L'un de ces alcaloïdes, l'*arécoline*, est un poison dangereux.

IMPURETÉS DIVERSES

Il est important, lorsqu'on procède à l'analyse microscopique d'un tourteau, de pouvoir établir la nature, sinon de toutes les impuretés qu'il renferme — elles varient dans des limites indéterminées — du moins du plus grand nombre d'entre elles. Nous indiquerons ici les caractères principaux permettant de reconnaître quelques-unes des plus communes.

Tout d'abord, deux produits (coques d'arachides et de cacao) que l'on rencontre assez fréquemment, le premier surtout, dans les tourteaux entiers ou moulus, où ils sont introduits tantôt dans une intention frauduleuse, tantôt pour aider à l'expression de l'huile en divisant des matières sans consistance.

Coques d'arachides. — Le péricarpe de l'arachide, dont nous avons eu à nous occuper déjà, au sujet des tourteaux de cette espèce, se brise aisément. Par le broyage, il se réduit en particules très menues. Malgré leurs petites dimensions, beaucoup de ces particules peuvent être reconnues à la loupe par un œil exercé : leur épaisseur inégale (de $0^{mm},5$ à 1 millimètre en moyenne) ; leur surface tourmentée, couverte d'un réseau irrégulier de côtes saillantes ; la fine pellicule d'aspect argenté qui revêt leur face interne ; les alvéoles blanchâtres,

séparées par des colonnes de coloration brune, qui apparaissent sur la surface de section, sont autant de caractères qui les distinguent.

Si nous examinons une section transversale du péricarpe, particulièrement sur un fruit incomplètement mûr (*fig. XII — 1*), nous trouvons les éléments suivants : sous un épiderme fortement cutinisé et une assise sclérifiée (*e*) se trouve un parenchyme à membranes minces (*a*) très riche en amidon. Dans la partie profonde de ce parenchyme circulent des faisceaux libéro-ligneux (*f*) protégés extérieurement chacun par un massif de cellules seléreuses (*fs*). Intérieurement aux faisceaux, et venant s'appuyer contre eux, se trouve une épaisse couche de fibres (*b*) orientées dans des sens différents, de coloration jaune caractéristique. Durant la dessiccation qui précède la maturité du fruit, les tissus (*a*) s'écrasent, viennent s'appliquer sur les faisceaux et sur les cellules scléreuses, produisant les côtes saillantes que nous avons constatées sur la surface externe du péricarpe et les alvéoles blanchâtres visibles sur la section transversale.

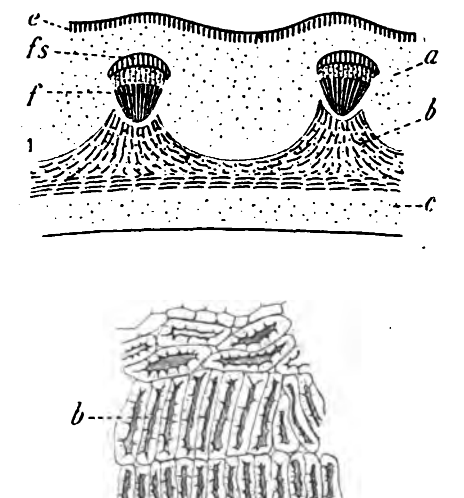


Fig. XII. — Éléments de la coque d'arachide (péricarpe).

1, Section transversale du péricarpe. — 2, Détail de la zone scléreuse (*b*). — Gr. : 200 d.

La zone interne (*c*) est formée par des cellules à membranes minces, d'abord arrondies et riches en amidon, mais ne tardant pas à être aplaties et écrasées par le développement des cotylédons.

Pour rechercher la présence de coques d'arachides dans un tourteau, il est bon de désagréger d'abord celui-ci dans l'eau et d'isoler, par des décantations successives, les particules les plus légères. Les débris de coques d'arachides se réunissent au fond du verre ; ils

affectent la forme de particules jaunâtres, molles, gonflées par l'eau, dans lesquelles on retrouve, par simple écrasement ou, mieux encore, sur des coupes transversales, les éléments que nous avons signalés et tout particulièrement les cellules scléreuses de la région (*b*) représentées par la figure XII — 2.

Les coques d'arachides sont constituées pour plus de moitié par de la cellulose et n'ont qu'une très faible valeur nutritive ; elles n'en sont cependant pas complètement dépourvues et celle qu'on leur attribue n'est guère inférieure à celle du son d'orge. Aussi s'en sert-on parfois pour former des rations alimentaires en les mélangeant à des substances plus riches.

Les tables de Wolff leur assignent la composition suivante :

Eau	8,0	p. 100
Matières azotées	8,2	—
Matières grasses	4,1	—
Extractifs non azotés. . .	16,3	—
Cellulose	53,2	—
Cendres.	10,2	—
	100,0	

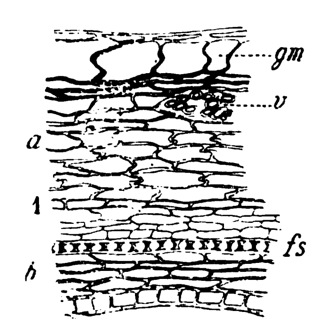
Leur facile fragmentation, en même temps que leur faible valeur marchande, en font une matière précieuse pour la fabrication d'un grand nombre de provendes du commerce, baptisées des noms les plus divers ; ces deux qualités, jointes à leur état physique, leur texture lacuneuse et comme spongieuse, les rendent éminemment propres à la préparation des pains mélassés ; nous les avons souvent rencontrées dans des produits de cette nature.

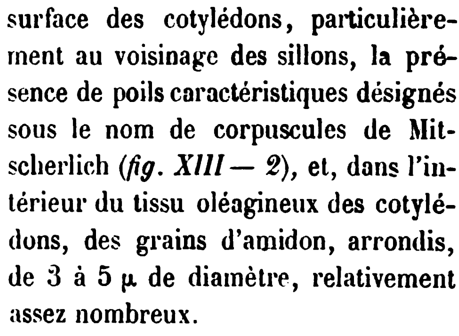
Coques de cacao. — Ces coques représentent le tégument de la graine du cacaoyer (*Theobroma Cacao* L.), qui seule arrive sur les marchés européens, l'enveloppe du fruit ou *cabosse* servant habituellement à la fumure du sol dans les plantations mêmes. Elles affectent l'apparence de pellicules brunâtres, très minces, marquées de fines stries longitudinales.

Sur une section transversale (*fig. XIII — 1*) on remarque une assise, légèrement colorée en jaune, de cellules dont les membranes radiales sont épaissies (*fs*). A l'extérieur et à l'intérieur de cette

assise, se trouve un tissu parenchymateux peu différencié. Dans la région superficielle du tégument, il convient de signaler la présence de glandes mucilagineuses (*gm*), que l'on retrouve rarement entières sous le microscope, et, plus profondément, de trachées circulant dans le tégument et déterminant, sur la surface externe, les stries signalées plus haut. L'épaisseur totale du tégument atteint 250 à 300 μ.

Quant à l'amande, qui constitue la matière première pour la fabrication du chocolat et du beurre de cacao, nous signalerons, sur la





surface des cotylédons, particulièrement au voisinage des sillons, la présence de poils caractéristiques désignés sous le nom de corpuscules de Mitscherlich (*fig. XIII — 2*), et, dans l'intérieur du tissu oléagineux des cotylédons, des grains d'amidon, arrondis, de 3 à 5 μ de diamètre, relativement assez nombreux.

Sans avoir une grande valeur alimentaire, la coque de cacao est plus riche en principes nutritifs que la coque d'arachides. En voici la composition moyenne :

Eau.	42,71 °/o
Matières grasses. . .	3,40
Matières azotées. . .	12,66
Extractifs non azotés .	16,71
Cellulose.	16,05
Cendres	8,47
	100,00

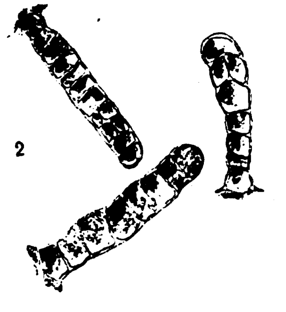


Fig. XIII. — Éléments de la coque de cacao.

1, Section transversale du tégument (Gr. : 300 d.). — 2, Corpuscules de Mitscherlich (Gr. : 200 d.).

On lui attribue d'utiles propriétés condimentaires, dues à la présence d'une petite quantité de *théobromine*. Certains éleveurs se trouvent bien de son emploi pour la nourriture des vaches laitières. Comme celles d'arachides, mais moins fréquemment cependant, les coques de cacao figurent dans les provendes du commerce et les aliments mélassés.

Comprimées avec les résidus obtenus lors de l'extraction du beurre de cacao, elles fournissent un tourteau brun assez apprécié, à odeur et saveur caractéristiques.

Déchets de céréales. — Ce sont là des produits employés communément pour l'adultération des tourteaux chers, ceux de lin particulièrement. Les déchets de trieurs, petits blés par exemple, les céréales avariées, les résidus de blutage, les poussières de moulins sont surtout utilisés dans ce but.

Nous n'insisterons pas ici sur les caractères des différentes céréales, si souvent décrits dans les ouvrages spéciaux. Il suffit de savoir que les investigations doivent porter : 1° sur les amidons et sur les germes de parasites qui s'y trouvent souvent mélangés (spores de carie, d'ustilaginées, anguillules de la nielle, etc.) ; 2° sur les particules de son ; 3° sur les enveloppes du grain (glumes et glumelles) ; 4° sur les débris de paille.

Graines diverses. — Les semences considérées comme impuretés diffèrent avec la nature de la graine oléagineuse qui fournit le tourteau. Elles diffèrent aussi suivant sa provenance et leur détermination aura, en cas de doute sur l'origine, la plus grande importance pour l'établir avec certitude. Le nombre de ces espèces est, on le conçoit, tellement considérable, lorsqu'on en envisage l'ensemble, que le champ des recherches devient beaucoup trop vaste pour qu'on puisse l'embrasser en entier; il convient donc de le limiter aux seules graines caractéristiques ou figurant dans le tourteau en proportion appréciable. Une collection de semences aussi complète que possible permettra seule, dans bien des cas, d'établir par comparaison l'identité des graines entières ou des fragments de graines étrangères rencontrées dans le tourteau. Cependant, quelques graines communes se reconnaissent immédiatement, soit à la loupe, soit sous le microscope. Les *moutardes*, les *camelines*, la *roquette*, décrites dans notre premier mémoire, sont parmi celles-là ; il en est de même de la *nielle* (*Agrostemma Githago* L,), du *liseron des champs* (*Convolvulus arvensis* L.), des *oseilles* (*Rumex*), des *plantains* (*Plantago*), des *sétaires* (*Setaria*), des *cuscutes* (*Cuscuta*), etc.

Les figures de notre planche VI aideront à la détermination de quelques graines indigènes souvent mélangées aux espèces oléagineuses.

En ce qui concerne l'*ivraie enivrante* (*Lolium temulentum* L.), intéressante à cause de ses propriétés toxiques, il est utile de savoir distinguer son amidon de celui de l'avoine, avec lequel il peut facilement être confondu. Les grains de ces deux amidons sont, en effet, les uns très petits, plus ou moins polyédriques, les autres gros, arrondis et formés par la réunion de nombreux grains simples.

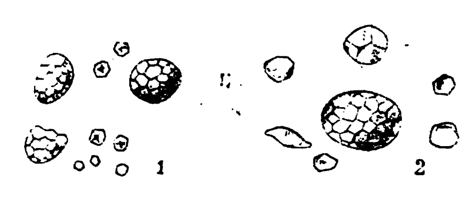


Fig. XIV. — Grains d'amidon de l'avoine (1) et de l'ivraie enivrante (2). — Gr. 400 d.

Dans le *Lolium temulentum* (*fig. XIV — 1*), les grains composés sont arrondis, à contour externe net; ils atteignent 20 à 22 µ de diamètre maximum, le plus grand nombre de ces grains restant au-dessous de ces dimensions. Les grains simples sont nettement polygonaux, très petits, de 3 à 5 µ de diamètre.

L'amidon de l'ivraie du lin (*Lolium linicolum* Sond) offre les mêmes caractères; rappelons que cette ivraie est considérée aujourd'hui comme une forme de la précédente.

Dans l'avoine, les grains composés sont un peu plus gros; le diamètre des plus volumineux atteint 40 à 45 µ, mais celui des grains les plus nombreux ne dépasse pas 25 à 30 µ. Les grains simples sont moins nettement polygonaux que ceux de l'ivraie et présentent des dimensions très variables; beaucoup d'entre eux ont jusqu'à 6 à 8 µ de diamètre.

LE

SOLANUM COMMERSONI

ET SES VARIATIONS

A VERRIÈRES (Vienne)

PAR

J. LABERGERIE

Les observations qui suivent ont fait l'objet de deux communications à la Société nationale d'agriculture de France (séances des 9 mars et 7 décembre 1904) et d'une communication lue à l'Académie des sciences par M. Bonnier (séance du 13 novembre 1904).

On lira avec fruit, pour apprécier à leur juste valeur le *solanum Commersoni* et ses variations, les documents suivants :

Observations de MM. André, Bonnier et Schribaux, aux séances de la Société nationale d'agriculture de France des 9 mars, 30 novembre et 7 décembre 1904; les articles de M. Grandeau parus dans le *Journal d'agriculture pratique* (numéro de novembre 1904), et enfin les travaux de M. Heckel (*passim* dans la *Revue horticole des Bouches-du-Rhône*), et notamment la communication du même auteur lue à l'Académie des sciences par M. Bonnier (séance du 21 novembre 1904), où M. Heckel soulève la grosse question de la parenté plus ou moins directe du *solanum Commersoni* avec les pommes de terre cultivées en Europe [1].

---

1. Voir les *Annexes*, pages 126 et suivantes.

Type primitif.

Historique. — Le *solanum Commersoni* a été introduit en France, en provenance des rives de la Mercédès (Uruguay), par les soins de M. de Saint-Quentin, qui confia les plantes obtenues à M. Heckel, le savant directeur de l'Institut colonial de Marseille ([1]).

Grâce à l'obligeance de ce dernier, j'ai pu, depuis le printemps 1901, me livrer à des essais de culture de cette plante.

Elle s'identifierait, d'après M. Mottet, avec le *solanum Ohrondi*, déjà introduit et essayé, mais sans succès, en 1822 et 1879, en Europe.

Cette identification, si elle est exacte, amène à tirer des observations qui suivent la conclusion que les plantes les plus réfractaires peuvent se modifier heureusement, si on les cultive avec patience.

M. Heckel n'admet pas cette identification. De plus, les figures, renseignements et documents publiés par M. Roze dans son ouvrage sur l'histoire de la pomme de terre, pages 17-47 et suivantes, ne permettent pas d'accepter cette identification sans vérification.

Aspect et végétation. — Les fanes, petites, sont grêles, analogues à celles d'une pomme de terre.

Leur aspect et celui des feuilles avaient déterminé Commerson à baptiser provisoirement cette plante du nom de *tomate d'Espagne;* ce fut plus tard Dunal, savant botaniste à Montpellier, qui, classant l'herbier de Commerson, donna la dénomination définitive de *solanum Commersoni*.

Les fleurs, très abondantes, violet pâle tirant sur le jaune, sont très odorantes, d'un parfum jasminé.

La végétation, très traçante pendant toute l'année, émet des tiges nouvelles et des tubercules dans toutes les directions.

---

1. M. de Saint-Quentin a exposé dans les numéros 501 et 502 de la *Revue horticole* des Bouches-du-Rhône, les curieuses observations faites en Uruguay sur le *solanum Commersoni* par un de ses parents.



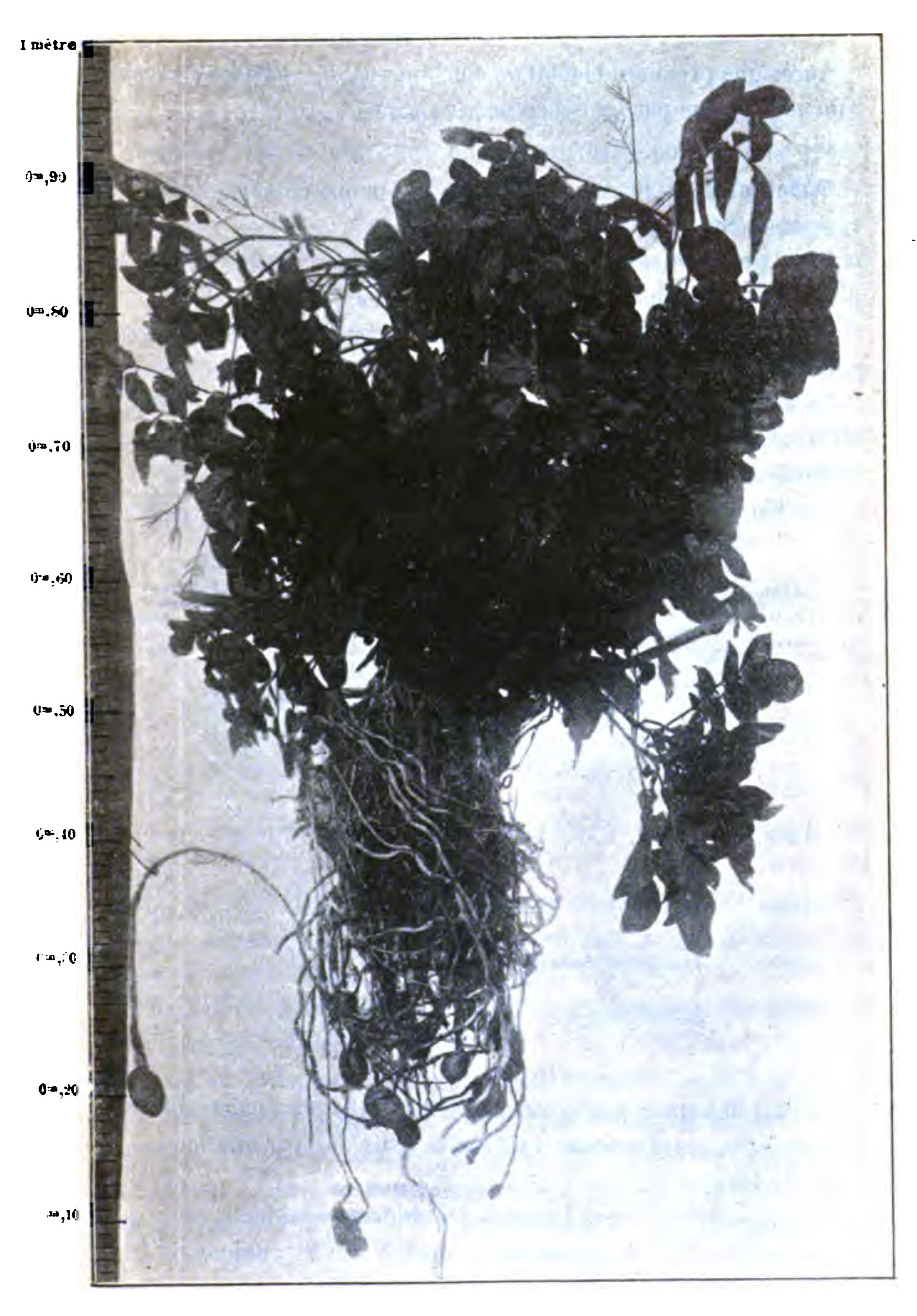


Fig. 1. — Pied entier de ***solanum Commersoni type primitif*** **avec ses tubercules et ses stolons.**

Après une première plantation dans un sol, le *solanum Commersoni* se perpétue par les débris de ses racines.

Tubercules. — Blancs, à peau plus ou moins jaunâtre ou jaune, rugueuse, couverts de lenticelles.

Ils se modifient par la culture, la peau devient moins rugueuse, plus lisse et plus fine, elle perd ses lenticelles.

La chair est généralement jaune, parfois verdâtre, elle prend plus particulièrement cette dernière coloration à la cuisson.

La saveur amère, très accentuée au début, va en s'atténuant depuis 1901, dans une proportion variable avec l'âge de la plantation, et curieuse à suivre.

Sur vingt-cinq tubercules, pris au hasard, cuits avec leur peau :

Année de la plantation	Terrain	Année de l'essai	Nombre de tubercules — très amers et amers	mangeables	bons et farineux
1901	Très fertile	1901	25	0	0
		1902	22	2	1
		1903	15	5	5
		1904	13	6	6
1902	Idem	1902	25	0	0
		1903	19	4	2
		1904	14	5	6
1903	Idem	1903	19	6	0
		1904	14	5	6
1903	Très fertile, ombragé	1903	25	0	0
		1904	18	6	1
1903	Siliceux, maigre	1903	22	3	0
		1904	18	6	1

Il faut remarquer que les tubercules dégustés provenaient de plantations faites toutes avec des tubercules issus de la plantation originaire de 1901.

L'enlèvement de la peau modifie les chiffres précédents, en ce que la proportion des tubercules amers ou très amers diminue de 10 à 20 °/₀ et celle des bons ou mangeables augmente dans les mêmes conditions.

L'enlèvement copieux de la peau donne une majorité de tubercules bons et farineux en 1904.

La rugosité de la peau, l'abondance des lenticelles ou leur prééminence sont généralement proportionnelles à l'amertume des tubercules ; mais ce n'est cependant pas un indice absolument certain et tel tubercule à peau lisse s'est trouvé aussi amer que tel autre à peau encore rugueuse.

Ces améliorations ne sont rien, à côté des transformations que le type primitif a subies cette année (1904).

Plus du tiers de la récolte dans les différents essais présente des symptômes divers qui paraissent des indices sérieux d'amélioration totale ; il serait téméraire d'en donner la description, car leur fixité

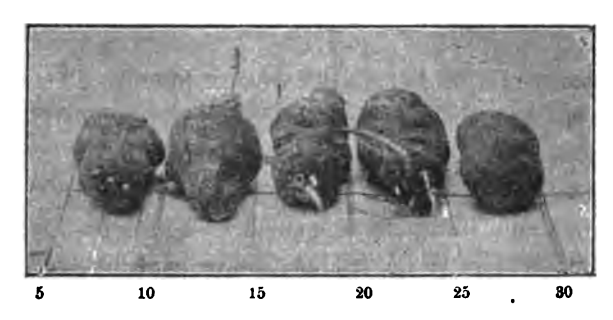


Fig. 2. — Tubercules de *solanum Commersoni type primitif* (pesant 240 à 250 grammes).

n'est encore qu'à l'état de probabilité ; un seul fait a pu être observé en 1904, et cela est insuffisant pour permettre autre chose qu'une présomption sérieuse.

Malgré leur saveur amère, les animaux acceptent très bien les tubercules, surtout après cuisson.

Les poids indiqués par les premiers essayeurs oscillaient entre 10 et 80 grammes. C'était à peu près exact en 1901 ; mais en 1902, il s'en est trouvé accusant 450 grammes. En 1903, le poids moyen s'est abaissé et les plus lourds n'ont pas dépassé 250 grammes, par suite probablement d'une légère atteinte de maladie qui a entravé la végétation foliacée.

En 1904, les poids ont été analogues à ceux de 1902 en terrain humide. En terrain très sec, ils sont restés voisins de ceux de 1901.

En 1904, il a été trouvé dans une conduite de drainage à demi obstruée par les terres un tubercule monstre, coupé par inadvertance à l'arrachage; les morceaux réunis ont dépassé 600 grammes de poids total.

Les tubercules ont une grande densité, leur richesse en fécule est considérable. Les yeux, peu apparents, émettent des rejets généralement blancs et minces, le plus souvent aux extrémités du tubercule; souvent ces jets sortent nombreux, du même œil, en touffe ou en forme de pinceau. Les tubercules à peau moins rugueuse ont généralement les germes plus gros et violacés. Les tubercules sont souvent réunis par des filaments radicellaires, en forme de chapelets; ils affectent en majorité une forme ronde ovale, arrondie plus largement à un bout qu'à l'autre, un peu aplatie (*fig. 1, 2 et 3*).

Maladies. — En 1901 et en 1902 (années humides dans la région), aucune trace de maladie ne fut relevée sur le *solanum Commersoni*, tandis que les variétés françaises de pommes de terre étaient toutes très avariées.

Cette immunité fut aussi complète à l'égard du mildew de la pomme de terre qu'à l'égard de l'autre maladie (sorte de gangrène) qui se manifesta en 1901, par une attaque lente du bas des tiges.

En 1903, les maladies cryptogamiques firent, dans la région de l'ouest et surtout dans la Vienne, des ravages inconnus jusqu'à ce jour; à titre d'exemple, j'ai dû, dans mon vignoble, faire jusqu'à neuf sulfatages et cinq soufrages sur certaines parties habituellement protégées par trois ou quatre traitements.

Le *solanum Commersoni* fut frappé aux parties aériennes, entre le 30 juin et le 10 juillet, dans les plantations en terrains humides et fertiles, et très légèrement atteint, un peu plus tard, dans le sol maigre siliceux, aux parties foliacées.

Un traitement à la bouillie bordelaise arrêta la maladie, dont la marche était lente et non pas foudroyante, comme sur les pommes de terre ordinaires voisines. Un traitement préventif eût certainement empêché l'apparition du mal.

Comparativement aux variétés françaises cultivées à côté, voici les

constatations faites sur les parties de *solanum Commersoni* n'ayant reçu aucun traitement :

	FANES INTACTES		TUBERCULES INTACTS	
	Sol fertile	Sol siliceux	Sol fertile	Sol siliceux
	%	%	%	%
Solanum Commersoni	60	80	98	99
Fleur de pêcher.	»	»	10	»
Merveille d'Amérique.	»	10	»	30
Early rose.	»	»	15	20

Dans les parties traitées, après l'apparition de la maladie, le *solanum Commersoni* n'a perdu aucun tubercule.

Plusieurs personnes m'ont affirmé n'avoir constaté aucune trace de maladie, en 1903, sur le *solanum Commersoni,* dans d'autres terrains.

En 1904, il n'a été constaté aucune trace de maladie sur les tubercules, les feuilles ont été très légèrement atteintes et partiellement le 10 juillet, puis un peu plus fortement dans la plantation de 1904, non encore mûre le 10 septembre (1).

Les Early roses plantées dans le voisinage immédiat étaient fortement atteintes le 10 juillet et les tiges rares restées vertes étaient complètement brûlées le 10 septembre ; une fraction importante des tubercules fut avariée.

Gelées. — Depuis 1901, aucune des plantations n'a souffert des gelées. En 1903, du 20 au 25 avril, la température s'est abaissée à — 7°, les jeunes pousses ont été roussies ; mais tout le mal s'est borné à un léger retard dans la végétation.

En 1904, plusieurs stolons ont émis des pousses après l'arrachage en terrain très fertile, les feuilles rampantes étaient encore vertes au 1er janvier 1905, malgré des matinées nombreuses où le thermomètre est descendu de 3° à 5° au-dessous de zéro. Les nuits du 1er au 4 jan-

1. Au jardin botanique de Marseille, le *solanum Commersoni,* qui s'était montré réfractaire à toutes les atteintes du *phytophtora,* depuis le commencement des essais (1896), a été complètement ravagé en juin 1904 sur les parties aériennes. (Lettre de M. Heckel.)



vier 1905, où la température est descendue jusqu'à — 12°, les ont complètement ravagées.

Culture et récolte. — La plantation se fait vers la fin de mars; il paraît préférable de planter à plat pour diminuer l'asséchement du sol, le rendement est augmenté par rapport à la culture à billons.

La plantation doit être rapprochée (20 à 25 centimètres en tous sens). La végétation surabondante du *solanum Commersoni* suffit alors, avec un seul binage, à étouffer toutes les plantes parasites. Sur les plantations de deuxième année ou plus, un seul binage après la pousse suffit amplement; la profondeur de plantation préférable paraît être 7 à 8 centimètres.

Un terrain ensemencé l'est indéfiniment, il n'est plus besoin de nouvelles plantations. La récolte se fait lorsque la végétation est terminée. L'arrachage est un peu plus difficile que celui des variétés ordinaires de pommes de terre, à cause de la dispersion des tubercules qui se forment dans toutes les directions.

Fumures et engrais. — Les plantations faites en 1901, 1902, 1903, en terrain fertile, n'ont reçu aucun engrais ni amendement, ni à la plantation, ni depuis. Celle effectuée en 1903, en terrain maigre siliceux, a reçu, au moment de la mise en terre des semences, un apport de 300 kilogr. de superphosphate et de 100 kilogr. de chlorure de potassium, à l'hectare.

En 1904, il n'a été donné aucun engrais sur aucune des plantations; il a été ainsi tenté une culture d'épuisement.

Rendements.

Les rendements ont été beaucoup plus élevés en 1904 qu'en 1903. Cette amélioration, assez surprenante à la suite des sécheresses de l'année, fait supposer que la destruction partielle des parties aériennes par le mildiou de la pomme de terre en 1903 avait influé fâcheusement sur la production.

Il n'a été relevé qu'une seule exception à l'augmentation des

rendements, elle est due à l'extrême sécheresse de la parcelle et aussi à l'état absolu d'inculture où elle a été laissée.

Toutes les parcelles en observation sont privées, depuis la première plantation, de tout amendement; il a été fait ainsi une véritable culture d'épuisement et la seule conséquence a été une diminution du poids moyen des tubercules récoltés dans les plantations de 1901 et de 1902. (Voir pages 84 et suiv. les observations relatives au non-épuisement du sol par le *solanum Commersoni*.)

PLANTATION		Année de récolte			
		1901	1902	1903	1904
Terrain très fertile (identique au n° 1, voir page 82):					
1901		8 000	16 000	12 500	20 000
1902			17 000	12 000	26 700
1903				12 000	24 500
1903				6 000	10 000 [1]
Terrain siliceux, plus compact (identique au n° 2, voir page 83):					
1903	Sec			6 100	4 500
1903	Humide			8 500	16 000 [2]
Terrain défriché en 1904:					
1904	Plantation à billons, arrachage très difficile				3 000
1904	— plat — facile				1 800

Il est intéressant de noter spécialement quelques détails relatifs à la plantation en terrain maigre, argilo-siliceux, avec dominante de silice, en coteau exposé au nord, dont la moitié est arrosée par les infiltrations d'une petite source. Ce terrain très sale avait porté, en 1901, sur une demi-fumure, une récolte de topinambours, et en 1902, sans aucun soin cultural ni amendement, une seconde récolte de topinambours.

Au printemps 1903, un seul labourage léger précéda la plantation à billons des *solanum Commersoni*.

Deux binages ne purent suffire à détruire les plantes sauvages et

1. Terrain ombragé et piétiné tout l'hiver et non ameubli.
2. Terrain laissé à l'état d'inculture complet.

les topinambours ; mais d'autres soins culturaux plus urgents firent abandonner les *solanum Commersoni* à eux-mêmes.

Malgré ces conditions absolument défavorables qui rendent l'expérience d'autant plus intéressante, la récolte à l'hectare atteignit en

	1903	1904
	Kilogr.	Kilogr.
Partie sèche	6 100	4 500
Partie mouillée	8 500	16 000

Comparativement, dans le même terrain, il fut obtenu en tubercules sains en 1903 :

	A L'HECTARE.
Merveille d'Amérique	3 500 kilogr.
Early rose	3 000 —

Ce terrain fut laissé à l'état d'inculture complet en 1904.

La sécheresse a déterminé chez le *solanum Commersoni, type primitif,* une pénétration à de grandes profondeurs ; de même, dans la plantation à billons, qui rend la culture de cette plante très peu rémunératrice en sol sec, les frais d'arrachage sont énormes, il a fallu remuer de 20 à 30 centimètres de profondeur de terre en sol siliceux très sec. (Voir pages 87 et suiv., 92 et suiv. les observations sur la sécheresse du sol.)

Le seul fait remarquable est la résistance absolue du *solanum Commersoni* aux sécheresses les plus violentes ; elles ne le détruisent pas, et il végète depuis trois ans, dans une cour pavée sur le rocher.

Il émet alors des stolons très longs avec des formations de tubercules très petits ; dans un sol très sec et très meuble, un stolon découvert avec précaution avait atteint 4 mètres de longueur sans renflement.

On peut rapprocher de ce fait la formation en terrain très sec de stolons très courts, par le *solanum Commersoni violet,* dont il est parlé plus loin, et qui en terrain moyennement frais n'en a émis aucun, pas plus que dans les terrains frais ou humides.

Végétation. — La végétation a été superbe et la maturité des tiges s'est faite régulièrement (sous réserve de ce qui a été signalé plus haut à propos des atteintes des maladies cryptogamiques en 1903, et un peu en 1904 sur la plantation de 1904).

Toutes les phases de la végétation depuis la levée jusqu'à la maturité des tiges, des fruits et des tubercules sont avancées de quinze jours pour la plantation de 1901 par rapport à celle de 1902, de même pour celle de 1902 par rapport à celle de 1903, et aussi, mais un peu moins (dix jours seulement) pour celle de 1903 en présence de celle de 1904.

Toutes conditions de terrains et de cultures et d'expositions égales.

Acclimatement. — Le *solanum Commersoni* ne paraît s'acclimater vraiment au sol où on l'implante que la deuxième année. La grosseur, l'aspect, la saveur (voir plus haut) des tubercules se modifient plus avantageusement dans les plantations d'au moins un an d'âge. La végétation aussi est plus avancée.

Terrains et expositions. — Les terrains humides, frais, même marécageux, conviennent au *solanum Commersoni*. La richesse en calcaire ou en silice paraît jusqu'à présent sans influence sur la végétation ou sur la saveur.

Un essai en terrain tourbeux n'a pu être suivi. La levée s'était faite régulièrement ; mais la surveillance avait été confiée à la bonne volonté d'un métayer qui en repassa la charge à une bergère... et tout naturellement les pousses furent dévorées par les animaux.

Trois fois, les plants donnèrent des rejets et trois fois ils furent détruits ; on ne peut retenir de cela que le fait de la levée régulière suivie de deux secondes pousses, dans un terrain très acide et tourbeux.

En terrain argilo-siliceux, la récolte a été inférieure de 25 % dans la partie sèche à celle de la partie mouillée en 1903 et de 75 % en 1904.

L'absence de soleil rend la végétation plus faible, plus maigre, les

tubercules moins gros sont plus amers ; la floraison est très réduite et la levée est retardée de dix à quinze jours.

Rapidité d'évolution de la plante. — En 1904, le fait suivant a pu être relevé : quelques débris de tubercules avariés partiellement ou séchés avaient été oubliés dans un coin de cellier ; ils furent mis en terre le 10 juillet à écartement de 25 centimètres sur 25, tous levèrent régulièrement, et le 10 septembre, les tiges ayant été ravagées par le mildiou, l'arrachage fut effectué, la récolte atteignit 250 grammes par pied planté, constituée par des tubercules bien conformés, gros comme un œuf de poule moyen environ (peu de petits ou de plus gros). Les tubercules mis en observation se conservent très bien, quelques-uns se sont ridés ou flétris, ils commencent tous à émettre des germes dans le cellier à la date du 1er janvier 1905.

Valeur alimentaire, industrielle et agricole.

Fanes. — Les tiges refusées par les lapins sont acceptées par les chevaux, ânes, chèvres ; mais leur consommation se fera au détriment des tubercules, des fleurs et des fruits.

Fleurs. — La floraison commence un mois environ après la pousse, se continue très abondante jusqu'à la fin de la végétation.

Les fleurs exhalent un parfum très intense, analogue à celui du jasmin. Une tentative grossière d'extraction de parfum des fleurs a fourni un alcoolat à odeur exquise, aromatique, légèrement jasminée, très persistante.

Il serait intéressant de trouver, dans le *solanum Commersoni*, une plante à parfum cultivable dans les sols froids et marécageux, d'où cette culture semble proscrite.

Les parties dépouillées de leurs fleurs n'ont pas donné un rendement inférieur à celui des autres parties.

Fruits. — Peu nombreux, ils contiennent un parfum concentré analogue à celui des fleurs, mais tellement intense, que la distilla-

tion donnerait peut-être des résultats intéressants. Ce parfum fut dénoncé par une tentative de séchage de fruits à la bouche d'un calorifère ; le parfum était tellement violent, que la pièce fut rendue inhabitable pendant les quinze jours que dura l'expérience, lorsque la demi-douzaine de fruits observés restait soumise au courant d'air chaud.

Tubercules. — Encore trop amers, en majorité, et même laxatifs, pour être affectés à la consommation humaine, leur amélioration promet d'être rapide.

Très bien acceptés par les animaux, surtout après cuisson, ils peuvent constituer une ressource précieuse pour les sols humides et marécageux.

Fécule et composition. — La richesse en fécule est très grande. En 1902, une vérification de densité par immersion dans l'eau salée avait fourni les indications comparatives suivantes :

	DENSITÉ	FÉCULE
Géante de l'Ohio (nouveauté de Vilmorin) . .	1,145	26,5
Solanum Commersoni	1,135	24,5
Early rose	1,125	22,5
Royale Kidney	1,105	18

En 1903, M. Roques, le chimiste bien connu, a fait une analyse comparative qui a donné :

Solanum Commersoni	20,90 %
Merveille d'Amérique	16,60

Une recherche par déplacement d'eau a fourni l'indication moyenne suivante pour dix essais portant sur 1 kilogr. chacun :

Fécule	21,90 %

Les gros tubercules ont accusé 2,5 de plus que la moyenne, et 3,5 de plus que les petits en pour cent de fécule.



En 1904, M. Coudon, chef des travaux chimiques à l'Institut agronomique, a fait des recherches dont voici les résultats :

Composition des tubercules de « solanum Commersoni type » récoltés :

		TERRAIN FERTILE		TERRAIN MAIGRE SILICEUX	
		Poids total	Matières sèches	Poids total	Matières sèches
		°/₀	°/₀	°/₀	°/₀
Eau		72,490	»	67,480	»
Fécule		19,911	72,381	23,212	71,386
Sucres		0,114	0,414	0,292	0,898
Matières grasses		0,022	0,81	0,029	0,091
Matières azotées	albuminoïdes	1,684	6,119	2,183	6,714
	non albuminoïdes	1,290	4,688	1,574	4,842
		2,974	10,807	3,757	11,556
Matières minérales		1,277	4,644	1,358	4,176
Cellulose		0,639	2,322	0,636	1,957

Conservation. — La conservation des tubercules est de tout point satisfaisante.

Il est un point sur lequel il importe d'appeler l'attention : la récolte doit être faite assez rapidement après l'arrêt de la végétation, sinon les tubercules repoussent au premier adoucissement de température, et alors ceux qui ont déjà formé des stolons ou rejets souvent très longs noircissent et se décomposent au moins partiellement.

Les tubercules blessés se conservent bien, à condition de ne pas être laissés en tas compact, non aérés, car ils subissent alors une sorte de fermentation qui détermine l'apparition de moisissures. Ces tubercules ainsi avariés ne paraissent pas pour cela perdre leur faculté de germination et ils peuvent être utilisés soit à la nourriture immédiate des animaux soit, si on les conserve dans un local suffisamment aéré, à la plantation.

Conclusion. — Le *solanum Commersoni,* tel qu'il se présente, mérite toute l'attention des chercheurs. Il peut en sortir : 1° une plante alimentaire propre aux terrains humides et marécageux ;

2° une plante industrielle, pour les féculeries ; 3° une plante fourragère, pour les exploitations en sols marécageux ; 4° une plante à parfums.

VARIABILITÉ ET TRANSFORMATIONS

Le *solanum Commersoni* a subi depuis 1901 d'importantes transformations et a produit toute une série de variétés de tubercules dont la description et l'énumération suit.

Avant d'aborder cet examen, il importe de bien spécifier que la

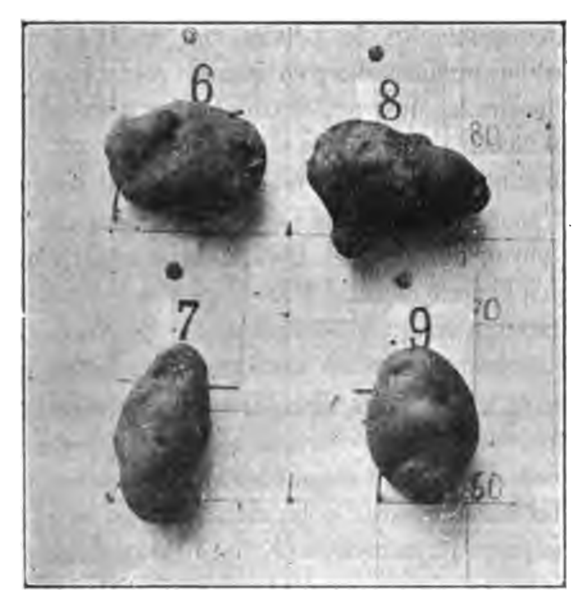


Fig. 3. — *Solanum Commersoni, type primitif.*

6. En terrain très fertile.
7. En voie de transformation.
8. En terrain maigre siliceux.
9. Variété 10-01 du type primitif.

plantation de 1901 a été faite à Verrières avec des tubercules fournis par M. Heckel et provenant du jardin botanique de Marseille ; la plante cultivée depuis 1896 à Marseille n'avait donné aucun signe de transformation.

Aucun essai d'hybridation n'avait non plus donné de résultats et il

en a été essayé plusieurs centaines par *solanum tuberosum* de diverses variétés à Verrières sans qu'aucune ait réussi depuis 1902.

On trouvera plus loin aux annexes les opinions émises par MM. André, Bonnier, Heckel, Schribaux sur les causes de cette transformation du *solanum Commersoni* et sur sa portée.

Présentement il suffit d'enregistrer les faits observés, en signalant très expressément qu'aucune des modifications rapportées ne s'est produite avec brusquerie.

Toutes se sont manifestées par une transformation graduelle (au cours de la première année d'apparition) des tiges, des feuilles et des fleurs : la tige augmente de rigidité, de grosseur, prend des colorations différentes ; la fleur prend des colorations différentes, présente des aspects moins maigres, les pétales sont moins séparés, moins étroits, les feuilles prennent des colorations diverses plus foncées ou plus claires que celles du type, elles paraissent généralement plus épaisses, plus charnues, souvent plus tomenteuses.

La caractéristique générale est une apparence de robustesse plus grande de la plante et toujours aussi une meilleure résistance aux atteintes du phytophtora sur les feuilles et les tiges, allant le plus souvent jusqu'à l'immunité complète.

Plus tard, les tubercules se forment de façons diverses. Tel pied les montre émergeant du sol en butte, tel autre les porte enterrés mais agglomérés autour de la tige, tel autre les fournit portés sur des stolons très courts et très charnus.

D'autres pieds n'ont manifesté aucune transformation aérienne et ont fourni des tubercules de colorations variées allant du jaune pareil au type jusqu'au jaune très brillant, d'autres fournissent des tubercules nettement violets en totalité ou en partie.

Toutes ces séries de tubercules seront suivies et plantées séparément.

Aucune de ces variétés n'a encore adopté sa forme unique définitive, sauf la variété violette parue en 1901, 1-01.

Il semble que la transformation du *solanum Commersoni* soit arrêtée ou du moins fortement entravée par sa transplantation dans un sol différent de celui où la transformation est apparue aussi longtemps que la variété n'a pas pris sa forme définitive.

En 1903, en terrain siliceux maigre, il fut fait, avec les mêmes tubercules que ceux qui ont fourni la plantation faite en 1903 en terrain très fertile et provenant tous de ce même terrain très fertile, une plantation qui n'a fourni qu'un très petit nombre de tubercules en voie de transformation et aucun pied nettement différent du type; au contraire, la plantation faite en 1903 en terrain très fertile est celle qui a donné la plus grande proportion de tubercules en voie de transformation avec celle de 1904 en terrain très fertile, et la plantation de 1904 en terrain maigre sur défrichement n'a fourni aucun tubercule en voie de transformation.

En outre, tous les pieds ayant manifesté une modification dans les parties aériennes et, concurremment, une transformation des tubercules se sont trouvés dans les plantations de 1903 et 1904 en terrain très fertile.

VARIATIONS DU « SOLANUM COMMERSONI TYPE » PRIMITIF.

En 1901, a paru la variété violette 1-01 sur laquelle on trouvera plus loin des détails (p. 78).

En 1902, aucune variation n'a paru.

En 1903, a paru une variété jaune dont on trouvera plus loin la dsecription, 3-03.

En 1903, deux tubercules ont montré des formes et des colorations diverses : l'un d'eux, sectionné et mis à part, a fourni en 1904 les variétés numérotées 9-04 et 10-04.

En 1904, ont paru les variétés suivantes :

5-04. — Variété violette (voir *fig. 12, n° 19*).

Un grand nombre de tubercules ont paru cette année avec les colorations violettes les plus complètes ; ces tubercules, fort petits en général, sont couverts de lenticelles, le violet est sale, un peu gris. Cette apparition est en outre, remarquable en ce que ces tubercules nés sous les pieds du ***solanum Commersôni type*** sont identiques à un tubercule trouvé dans la plantation du ***solanum Commersoni violet*** sous un pied issu de tubercules aériens, concurremment avec, sous le même pied, des tubercules franchement violets. (Voir plus

loin aux variations du *solanum Commersoni violet* 1-01 la variation 24-04.)

6-04. — Variété jaune.

Cette variété nettement caractérisée s'est manifestée comme suit :

Tiges et fleurs du type, tubercules formés autour de la tige en butte hors du sol, sans stolons, absence complète de lenticelles, coloration de la peau en jaune terne.

Les tubercules, assez arrondis et réguliers, ont une tendance marquée à s'aplatir chez plusieurs.

La peau porte des taches violettes, les yeux s'accentuent fortement et les poids moyens augmentent.

7-04. — Variété jaune.

Cette variété s'est présentée avec les signes suivants : tige du type, fleurs violettes identiques à celles du *solanum Commersoni violet.*

Les tubercules à peau jaune terne ont les yeux accentués, les formes allongées et articulées.

Peau fine, quelques lenticelles, poids moyen atteignant 70 grammes, le plus lourd pèse 200 grammes.

8-04. — Variété blanche.

Les tubercules émergent du sol, assez semblables à ceux de la variété jaune à son apparition en 1903 (3-03) décrite plus loin.

Les tiges et les fleurs sont celles du type, avec la tige plus grosse et plus érigée. Nombreuses maculatures violettes sur les tiges.

Les tubercules sont blancs teintés de jaune, ceux enterrés portent des traces violet mauve, l'un d'eux est d'un mauve analogue aux jeunes tubercules du *solanum Commersoni violet.*

La peau est absolument lisse, sans lenticelles.

La tige a résisté à l'attaque de mildiou du 10 septembre, qui avait brûlé les tiges voisines des pieds du type.

Le pied dont la végétation n'était pas terminée avait été respecté et il ne fut arraché qu'après la gelée du 12 octobre, et, après une autre gelée de — 4° à la fin d'octobre, les tubercules qui émergeaient

complètement de terre ne furent pas endommagés, l'un d'eux portait même deux petites feuilles vertes sur l'extrémité hors du sol.

Les vers blancs ont très fortement endommagé les tubercules qui affectent la forme d'une poire ou celle arrondie, et présentent des articulations.

Les tubercules sont identiques non seulement à ceux de 3-03 lors de son apparition, ainsi qu'il a été dit, mais aussi à 12-04 décrite plus loin et parue sous un pied de *solanum Commersoni violet.*

9-04. — Variété jaune.

Cette variété est apparue sous une partie des yeux du tubercule mis à part en 1903 et sectionné qui a aussi produit la suivante sous une autre partie de ses yeux.

La peau rugueuse d'un jaune gris est dépourvue de lenticelles, les yeux sont peu prononcés. Les tubercules sphériques ont, pour deux, une tendance à s'articuler.

Le poids moyen est 66 grammes.

La tige érigée et ramifiée est identique à celle du *solanum Commersoni violet* planté côte à côte, mais elle porte des fleurs mauves comme 3-03.

10-04. — Variété blanche. (Voir *fig. 3, n° 9.*)

Cette variété est issue comme la précédente d'une partie des yeux d'un tubercule de *solanum Commersoni type* sectionné.

Les tiges et les fleurs sont identiques à celles de 9-04) : tiges ramifiées et fleurs mauves.

Les tubercules, ramassés autour du pied ou portés sur des stolons très courts, sont formés à fleur du sol.

La peau très lisse est d'un jaune blanc brillant, les yeux très prononcés rappellent la forme de ceux du *solanum Commersoni violet.*

Les tubercules ont été très attaqués par les ravageurs souterrains.

3-03. — Variété jaune.

Dans une plantation de 1903, un pied de *solanum Commersoni* du type primitif a présenté les caractéristiques suivantes en 1903 :

Tiges très grosses, rigides, de 50 centimètres de hauteur.

Trois tiges semblables, sortant du pied [1], ne portant que peu ou pas de tiges secondaires, et très peu de feuilles.

Feuilles plus courtes, plus épaisses, plus charnues que dans le type primitif.

Fleurs peu abondantes, en un seul corymbe porté à l'extrémité de chaque tige, ne se renouvelant pas, violet très pâle, sans odeur.

Tubercules jaunes, ronds, très allongés ; peau très lisse, fine ; peu ou pas de lenticelles ; yeux très apparents.

Les tubercules, au nombre de six, dont l'un pesant 325 grammes, réunis tous autour des tiges presque à fleur du sol. Trois des tubercules étaient réunis en chapelet par une racine plus grosse et plus charnue que les radicelles, qui jouent le même rôle dans le type primitif.

Les fanes n'ont montré aucune atteinte de maladie ; les pieds du type primitif qui les entouraient ont tous été plus ou moins touchés aux fanes par le mildiou.

Deux des tubercules ont été entamés par les ravageurs souterrains, qui avaient scrupuleusement respecté les pieds voisins, du type primitif.

En 1904, cette variété a donné lieu aux observations suivantes :

La plantation a été faite en terrain très fertile et frais.

Chaque tubercule a été divisé œil par œil dans le double but de multiplier l'espèce et de s'assurer de sa fixité.

Les germes de couleurs différentes avaient été séparés.

Les germes noirs, violets et quatre des germes roses ont fourni une plante exactement semblable comme aspect aux pommes de terre ordinaires, mais douée d'une vigueur et d'une exubérance folles de végétation, semblable à ce point de vue à la végétation du *solanum Commersoni violet* planté en terrain identique.

Les feuilles vert pâle sont portées sur des tiges de même couleur sans maculatures violettes. Les tiges uniques se ramifient en tiges secondaires qui émettent des tiges tertiaires.

Les courtilières détruisirent complètement vingt-quatre pieds sur

1. Il y a là une particularité curieuse qui ne s'est pas reproduite en 1904. Tous les pieds se sont montrés avec une tige unique, comme presque tous les *solanum Commersoni type* ou variations depuis 1901.

quarante-six plantés, et les vers blancs endommagèrent la plus grande partie des autres.

Les tiges ont atteint jusqu'à 3m,50 de longueur, les fleurs, d'un beau violet mauve presque rose, ont paru avec une abondance extraordinaire jusqu'à la gelée du 12 octobre.

En 1903, les fleurs étaient d'un violet bleu.

La floraison est tellement jolie et abondante que cette plante a un véritable cachet ornemental.

Aucun fruit n'est apparu et aucun essai d'hybridation par *solanum tuberosum* n'a réussi.

Les attaques des courtilières et des vers blancs n'ont pas permis d'avoir une opinion sur le rendement, les huit pieds les moins endommagés ont fourni 18 500 kilogr. de tubercules, soit un poids de 2 310 kilogr. par pied, un pied a fourni 2 750 kilogr., le poids moyen de chaque tubercule était 81 grammes.

Il s'est formé des tubercules aériens : l'un d'eux a atteint 150 grammes, le tubercule souterrain le plus lourd pesait 500 grammes.

Les vingt-deux pieds qui ont pu terminer leur cycle végétatif ont donné au total 33 kilogr. de récolte, et il est bon de noter que les pieds les moins endommagés et qui ont fourni la plus grosse récolte étaient réunis en groupe au nombre de cinq sans vides.

Les tubercules se forment autour des tiges ou sur les stolons, mais toujours à fleur du sol ou hors de terre ; récoltés après la gelée du 12 octobre, ils n'ont en rien souffert.

Les stolons qui manquaient en 1903 sur le pied du type primitif qui a produit cette variété se sont montrés très longs (il en a été mesuré un de 1m,50) ; ces stolons courent au ras du sol, forment des tubercules et émettent des rejets aériens comme le type, mais beaucoup moins nombreux.

Il est à remarquer que la variété blanche qui suit et qui est issue du 3-03 ne porte aucun stolon.

Tubercules. — Certains tubercules ont une tendance à s'articuler, mais peu. Ils sont ronds ou piriformes de préférence.

La chair est d'un beau jaune blanc compact, sans amertume.

La peau se colore à maturité, chez la plupart des tubercules, en



violet mauve, les autres restent franchement jaunes; la plante traverse évidemment une crise de transformation.

Quelques tubercules s'aplatissent.

La saveur est bonne sans être encore aussi fine que celle du *solanum Commersoni violet*, elle est sans amertume. Elle est franchement comestible.

Les tiges enterrées après l'arrachage commencent à porter des tubercules comme le *solanum Commersoni violet* et de même couleur. (Voir *fig. 4, n° 20.*)

Maladies. — Cette variété, plantée dans un terrain très mildiousant, paraît avoir une bonne résistance à la maladie; vers le 10 juillet, une attaque brûla un peu les tiges du type primitif planté à côté, une seule tige de 3-03 porta une tache et l'attaque fut si faible que les feuilles et les fleurs situées au-dessus de la tache continuèrent à se développer; enfin, le 10 septembre, les tiges encore vertes du *solanum Commersoni type* furent grillées; au contraire, les tiges de 3-03 ne présentèrent aucune atteinte, seules quelques feuilles portèrent de très rares taches brunes.

Aucun tubercule ne fut atteint.

Conservation. — La conservation a été absolument parfaite en 1903-1904 et elle s'annonce comme aussi bonne; dans le mois qui a suivi l'arrachage, il n'a été trouvé qu'un seul tubercule avarié, malgré les nombreuses atteintes des rongeurs et les blessures des outils.

Fécule. — Une recherche par densité a permis d'évaluer la fécule à environ 15 °/₀.

Conclusion. — Cette variété du *solanum Commersoni* traverse une crise d'évolution; on peut considérer comme acquise une excellente conservation et la production promet d'être satisfaisante.

11-04. — Variété blanche. (Voir *fig. 4, n° 21.*)

Cette variété est apparue, en 1904, sous quatre pieds fournis par les germes roses de la variété précédente (3-03).

Tiges courtes, rampantes, ramifiées.

Feuilles très étroites, analogues comme aspect et comme disposition à celles de l'acacia, et glabres.

Tiges uniformément vertes sans maculatures violettes, plus foncées que celles de 3-03.

Les fleurs, assez abondantes, mais beaucoup moins que celles de

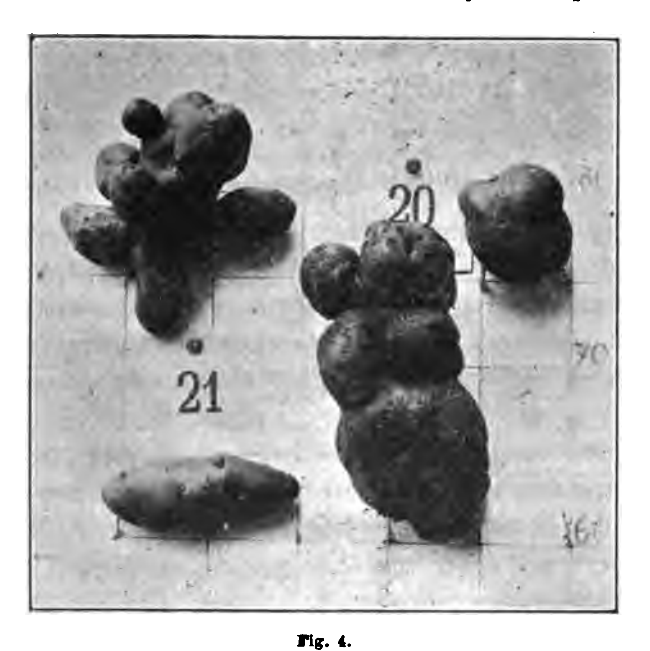


Fig. 4.

20. Variété jaune (3-03). 21. Variété blanche (11-04).

3-03, sont blanches; elles ont produit des fructifications sur presque tous les pieds.

L'évolution végétative est plus rapide et la maturité est en avance de près d'un mois sur 3-03.

Les fruits sont sphériques, mais avec une dépression et un sillon qui rappellent la forme des fruits du type.

Les tubercules aériens sont apparus très nombreux, mais ils sont restés petits.

Les stolons manquent totalement.

Les tubercules se forment en masse autour de la tige et émergent du sol.

Les formes sont allongées et presque toutes articulées, d'une coloration très belle ; blanche à l'arrachage, elle se teinte en jaune paille ensuite mais faiblement.

Les yeux très apparents sont recouverts d'un gros bourrelet en forme de V renversé très ouvert, presque arrondi.

Il n'a été remarqué aucune trace de maladie.

Les quatre pieds ont été tellement ravagés par les insectes qu'il est impossible de noter aucune production.

1-01. — Variété violette. (Pomme de terre de l'Uruguay.)

Historique. — Parmi les pieds de *solanum Commersoni* issus en 1901 des semences dues à l'obligeance de M. Heckel, l'un d'eux se fit remarquer par des tiges plus grosses ; au pied des tiges, émergèrent en juillet deux tubercules à peau violacée noirâtre faiblement lenticellée, ne correspondant pas à la description du *solanum Commersoni*.

La curiosité les fit détacher et manger ; un peu aqueux, très sucrés, à saveur très fine, aromatique, avec une pointe d'amertume, ils firent bien augurer du surplus de la plantation.

La fleur avait le même aspect que celle des autres pieds ; il ne fut pas remarqué si elle était odorante.

A l'arrachage, aucun autre pied ne donna de tubercules différents de ceux du type primitif.

Six petits tubercules furent encore trouvés sous ce pied unique, d'un poids total de 650 grammes. Recueillis précieusement, ils furent placés dans un cellier, côte à côte avec la récolte de *solanum Commersoni,* de merveille d'Amérique, de royale kydney, d'early rose, etc.

Quelques jours plus tard, une visite au cellier permit de constater que les rats, négligeant les meilleures variétés de pommes de terre, avaient dévoré la presque totalité des tubercules de *solanum Commersoni* à peau violette. Cette indication était précieuse, et les débris furent enveloppés avec soin dans une toile métallique.

Au printemps 1902, ces débris furent bouturés avec soin, et donnèrent douze petites plantes en pots sur couche sous châssis.

Les douze sujets, plantés en terrain très fertile, furent dévastés par les ravageurs souterrains.

Trois seulement échappèrent au désastre et fournirent 4^{kg},500 de tubercules et 40 grammes de tubercules aériens.

Sur les trois pieds, deux avaient été légèrement endommagés par les courtilières; le seul qui ait pu pleinement se développer donna 3 kilogr. de récolte. Les fanes, lignifiées, mais encore vertes, furent enterrées à moitié dans un mélange de terre sèche et de sable, en serre froide. Les tubercules étaient généralement allongés-ronds et de forme irrégulière. Le tout fut conservé avec soin, et planté au printemps.

Plantation de 1903. — Cinquante-deux pieds furent plantés à 30 × 33 centimètres d'écartement en terrain très fertile (terrain n° 3).

La plantation eut lieu fin mars.

Quarante et un pieds furent plantés fin avril en terrain maigre silico-argileux (terrain n° 2), à 50 × 50 centimètres d'écartement.

Ces quarante et un pieds provenaient : douze de boutures de germes, huit de tubercules aériens ; vingt et un de tubercules formés en hiver sur les fanes enterrées.

Cinq pieds de cette deuxième plantation furent détruits aussitôt la plantation par les ravageurs. Douze furent détruits et arrachés en juin.

Plantation de 1904. — Une tentative de germination en serre froide ne donna pas de résultats satisfaisants.

En présence de cet insuccès, chaque tubercule fut divisé œil par œil et les yeux furent plantés chacun dans un godet.

Ces godets furent placés côte à côte, sur une terrasse exposée au soleil levant, et à demi enterrés.

La levée fut régulière.

Les dates de mise en godets furent très diverses, par suite du retard du fournisseur à livrer les pots.

Les tubercules aériens et d'hiver furent mis en godets le 14 mars, et les tubercules normaux du 10 au 20 avril.

Les tubercules normaux, c'est-à-dire mûrs et formés sous les pieds

en 1903, furent divisés par formes en ronds, longs-aplatis, et aplatis en forme de cœur.

Il fut ainsi fait environ 11 850 godets qui donnèrent à la levée un déchet total de 500 au maximum, et encore, parmi ces 500 manquants, plusieurs donnèrent des végétations particulières dont on trouvera le détail plus loin.

Les godets placés sur la terrasse furent abrités jusqu'au 30 avril par des toiles, la nuit, contre les gelées, sauf un petit lot qui fut réservé comme témoin : aucun plant ne parut souffrir des gelées matinales.

Certains godets ne donnèrent de plants qu'avec un retard de quinze jours sur la moyenne ; réservés et mis à part, ils servirent à faire les remplacements dans les parties ravagées par les courtilières ; ces retardataires furent au nombre de 1 200 environ.

La mise en pleine terre des plants se fit du 16 au 30 mai ; on peut supposer que cette tardiveté dans la plantation a nui sensiblement à la production et à la richesse en fécule.

En outre, il fut réservé un certain nombre de tubercules qui furent plantés entiers ou en morceaux pour servir de comparaison.

Ces plants furent mis directement en pleine terre le 30 avril et la levée était complète et régulière, sans un manquant, le 15 mai.

La levée des tubercules à formes aplaties ou longues-aplaties fut plus rapide de cinq à six jours que celle des tubercules à formes rondes ; la même observation avait été faite pour les germes séparés mis en godets.

Terrains plantés. — Les terrains affectés aux diverses plantations se subdivisent comme suit :

Terrain n° 1. — Argileux compact dont la composition est très homogène, situé sur une pente terminée par un cours d'eau ; ce terrain comprend six zones :

Partie très sèche	1 000	mètres carrés.
— sèche.	400	—
— moyenne fraîche	400	—
— très fraîche	200	—
— humide	150	—
— submergée.	50	—

Soit au total 22 ares, plus environ 3 ares réservés pour les sentiers de service destinés à faciliter l'examen et la surveillance des végétations.

Une dizaine de mètres dans la partie submergée est placée par les plus basses eaux à environ 25 centimètres au-dessus du plan d'eau, et lorsque le cours d'eau qui la borde est à son plein, c'est-à-dire lorsque les vannes du moulin situé en amont sont ouvertes, le plan d'eau est à peine à 10 centimètres au-dessous de la surface du sol.

Voici l'analyse complète de ce terrain, qu'a bien voulu faire faire M. Grandeau, à la station agronomique de l'Est :

Terre fine	85,20 °/o
Cailloux calcaires	2,80
Cailloux siliceux	12,00

Pour cent de terre fine.

Sable	59,30	Azote	0,180
Argile	29,00	Acide phosphorique . . .	0,066
Calcaire	3,50	Potasse.	0,081
Humus.	0,25	Chaux	1,960
Eau et matières solubles dans l'eau acidulée . .	7,95	Magnésie	0,660

Terrain n° 2. — Argilo-siliceux léger dans le sol et compact dans le sous-sol.

Ce terrain avait porté exactement à la même place les *solanums violets* en 1903. Situé en pente sur un coteau rapide, il est bordé sur un côté par le cours d'une fontaine qui a permis d'en arroser une certaine partie plusieurs fois pendant l'été.

Ce terrain, d'une superficie d'environ 35 mètres carrés, a reçu cent vingt pieds.

Voici l'analyse qu'a bien voulu en faire faire M. Grandeau, à la station agronomique de l'Est :

Terre fine	76,40 °/o
Cailloux calcaires	néant
Cailloux siliceux.	23,60

Pour cent de terre fine.

Sable	91,20	Azote	0,137
Argile	4,80	Acide phosphorique	0,041
Calcaire	traces	Potasse	0,096
Humus	0,20	Chaux	0,190
Eau et matières solubles dans l'eau acidulée	3,80	Magnésie	0,290

Terrain n° 3. — Très fertile, profond, riche en humus, il n'a pas été analysé, à cause de son caractère exceptionnel de fertilité.

Argilo-calcaire frais avec le plan d'eau en permanence à environ 75 centimètres de la surface du sol.

On voit que les terrains n° 1 et n° 2 sont très médiocres comme qualité : si leur teneur en azote est satisfaisante, les autres éléments sont en proportion très faible, surtout la potasse et l'acide phosphorique.

Pour se rendre mieux compte de la qualité des sols expérimentés, voici, ramenés à la totalité à l'hectare des éléments qui les composent, les chiffres qui résultent des analyses rapportées ci-dessus, mis en parallèle avec ce qu'on est convenu d'appeler une terre fertile :

Quantités à l'hectare pour une couche de 20 centimètres de profondeur.

FERTILE	NUMÉRO 1	NUMÉRO 2	ÉLÉMENTS
4 000	7 200	5 400	azote
10 000	3 200	3 800	potasse
50 000	78 800	7 300	chaux
4 000	2 600	1 620	acide phosphorique
	26 000	11 600	magnésie

Si on compare les chiffres de récolte par pied et les rendements rapportés plus loin à la qualité très inférieure des sols où les *solanums Commersoni* ont été cultivés, on reste stupéfait de l'énormité des résultats que l'on pourrait espérer dans des sols de bonne qualité, et le chiffre de 100 000 kilogr. à l'hectare, qui paraissait un rendement fantastique, deviendrait une moyenne qui ne devrait plus surprendre.

Il importe de signaler que les sols n° 2 et n° 3 ont porté exactement

sur les mêmes emplacements les récoltes de 1903, et on verra plus loin la très faible quantité d'éléments fertilisants qui a été restituée à ces deux sols.

On peut rapprocher de cette curieuse propriété du *solanum Commersoni violet*, de ne pas épuiser le sol, les rendements obtenus depuis 1901 dans les diverses parcelles plantées du terrain fertile identique au n° 3 avec les plants du *solanum Commersoni type.*

Il semble que ces plantes ne sont sensibles qu'à l'humidité du sol, ce qui expliquerait les insuccès réels constatés avec le *solanum Commersoni type* dans une foule d'essais effectués en des terrains très bien fumés mais très secs; on peut mettre en parallèle les chiffres des rendements constatés dans le sol n° 2 planté en 1903 avec 300 kilogr. de superphosphate et laissé, sans amendement d'aucune sorte en 1904, à l'état d'inculture complet, qui dans la parcelle sèche a donné à peine 4 500 kilogr. à l'hectare de tubercules de *solanum Commersoni type,* tandis que la partie humide a fourni l'équivalent de 16 000 kilogr.

Enfin, on trouvera aux chiffres de rendement de tubercules du *solanum Commersoni violet* atteints de filosité un écart énorme de 11 000 kilogr., au lieu de 18 000 dans le même terrain exactement, mais ombragé, tandis que les 18 000 kilogr. ont été trouvés dans la partie bien exposée au soleil.

Il y a aussi à noter l'influence fertilisante possible de la magnésie assez abondante dans les deux sols n[os] 1 et 2, surtout dans le sol n° 1. (Voir pages 98 et suiv.)

On peut donc de ces renseignements conclure que pour donner de bons résultats le *solanum Commersoni violet* exige de l'eau et du soleil, et que la qualité du sol cultivé influe moins que ces deux éléments sur sa production.

Cette observation a déjà été faite en 1903, à propos du type primitif.

Engrais et insecticides. — En 1903, il fût mis seulement de la potasse dans les terrains n[os] 2 et 3, et du fumier dans le terrain n° 2.

En 1904, le terrain n° 1 a reçu l'équivalent de 300 kilogr. de superphosphate et de 150 kilogr. de chlorure de potassium à l'hectare.

Il n'a été mis ni fumier ni azote, pour éviter un trop grand développement des parties aériennes.

Le terrain n° 2 n'a reçu aucun amendement autre qu'un bon apport de fumier de cheval sous chaque pied à la plantation.

Le terrain n° 3 n'a reçu aucun amendement qu'un apport équivalant à 100 kilogr. de chlorure de potassium à l'hectare.

Les ravages des courtilières et des vers blancs furent tellement intenses qu'il fallut chercher un moyen de les combattre. Divers essais furent faits sans résultats appréciables; cependant, trois procédés méritent d'appeler l'attention par suite des effets produits.

1° *Carbure de calcium.* — Des fragments de carbure de calcium furent déposés dans les galeries des courtilières, puis recouverts de terre humide; ce traitement fut appliqué à une vingtaine d'emplacements. Quelques jours après, il fut constaté un insuccès complet, les insectes avaient refait leurs galeries jusque dans les trous garnis de carbure.

En revanche, les emplacements traités, facilement reconnaissables aux débris de chaux, portèrent des récoltes supérieures d'un bon tiers à celles ramassées dans les parties non traitées.

2° *Sulfure de carbone.* — L'insuccès du traitement au carbure de calcium amena à employer les capsules au sulfure de carbone; les insectes furent éloignés pendant une quinzaine de jours des parties traitées, puis ils revinrent avec autant d'activité; seulement, la végétation des plants qui entouraient les dépôts de sulfure de carbone fut peu active pendant plusieurs jours, et, à l'arrachage, le produit fut inférieur de moitié à celui des parties non traitées.

On peut dire ici que le remède fut pire que le mal.

3° *Vidange et purin.* — Il fut fait un mélange par parties égales de purin d'écurie et de vidange de fosses d'aisance; ce mélange fut additionné de trois fois son volume d'eau et répandu à l'arrosoir entre les lignes de la plantation.

La quantité ainsi répandue correspond à environ 24 hectolitres de liquide à l'hectare, soit 6 hectolitres de purin et vidange mélangés. Cette application éloigna réellement les insectes pendant un mois

environ, et il est à présumer que son action a un peu diminué les effets désastreux du sulfure de carbone.

Cultures, façons, etc. — Les plantations furent toutes précédées d'un bon labour, et au cours de la végétation il fut donné trois binages dans les parties sèches où l'accès fût possible; au contraire, dans les parties fraîches et humides, il ne fut nécessaire de donner qu'un ou deux binages suivant l'intensité de la végétation, qui étouffa les plantes adventices et ne permit pas la circulation dans les lignes.

Il ne fut donné qu'un buttage très léger un mois après la plantation dans le terrain n° 1 et la partie très sèche fut laissée à plat.

Aucun buttage ne fut donné dans le terrain n° 3.

Dans le terrain n° 2, il fut donné un fort buttage, et deux pieds de la partie arrosée formèrent deux couches de tubercules superposées.

Il apparaîtrait que le buttage est plus nuisible qu'utile, mais les ravages des courtilières n'ont pas permis d'avoir une opinion définitive.

Aspect et végétation. — L'aspect rappelle assez exactement celui de nos variétés européennes; mais un examen attentif révèle des dissemblances.

La tige, très forte, émet de nombreuses ramifications qui en produisent d'autres. Les tiges primaires et secondaires sont rampantes, sauf aux extrémités, qui se redressent jusqu'à 70 centimètres de hauteur. Les tiges tertiaires sont toutes érigées, et atteignent la même hauteur. La végétation est exubérante; les tiges, emmêlées, couvrent entièrement le sol et interceptent la lumière; certaines fanes ont dépassé $3^m,80$ de longueur en 1903 et $4^m,50$ en 1904. Les tiges, dans les parties rampantes, n'émettent aucune racine (*fig. 5*).

Les tiges primaires se lignifient rapidement, restent très vertes, tout en durcissant, et continuent à alimenter la végétation très intense des tiges secondaires et tertiaires qui produisent des rameaux, des feuilles et des bulbilles jusqu'à l'arrière-saison.

Les premières feuilles sèchent et disparaissent sans que la végétation cesse et, à l'arrachage, le 10 octobre, les tiges formaient encore des feuilles nouvelles.

En 1904, la végétation a suivi une marche irrégulière suivant l'influence de la sécheresse, de la pluie et suivant le degré d'humidité du sol.

Dans le terrain très fertile frais, la végétation s'est faite avec une grande régularité, sans à-coups.

Dans le terrain n° 2, la végétation a aussi été régulière dans les parties arrosées; au contraire, dans les parties sèches, elle a procédé par soubresauts comme dans le terrain n° 1.

Dans le terrain n° 1, aussitôt la plantation, une pluie assez forte est survenue, et la végétation a commencé très active; elle s'est arrêtée complètement dans les parties très sèches à partir du 15 juin, et elle a subi un ralentissement marqué dans les parties sèches et moyennement fraîches.

Le 22 juin, une forte pluie a rétabli les choses et les tiges ont allongé de 15 à 20 centimètres en quinze jours dans les parties très sèches et sèches, puis à partir du 15 juillet il y a eu arrêt plus ou moins complet ou ralentissement plus ou moins marqué dans les parties sèches ou très sèches.

A la fin d'août, la fraîcheur des nuits a permis aux plantes de reprendre de la vigueur.

Dans les parties fraîches et humides, la végétation a été régulière, plus rapide après les pluies du 22 juin et avec les nuits moins chaudes de fin août.

Les courtilières (taupe-grillon) firent des ravages considérables; aussitôt la plantation, elles détruisirent un tiers des pieds plantés, qui furent remplacés en partie du 15 au 30 juin par les plants retardataires; en outre, au fur et à mesure de la destruction des pieds, ceux-ci furent replantés sur place et buttés avec soin, beaucoup de ces derniers formèrent de petits tubercules.

Dans la partie dénommée submergée, la pluie qui survint aussitôt la plantation détermina une submersion totale pendant quinze jours des jeunes plants, une vingtaine fut même pendant tout ce temps complètement sous l'eau jusque par-dessus les feuilles. Il est remarquable qu'un seul périt, tous les autres végétèrent aussitôt le retrait des eaux; malheureusement, immédiatement aussi les courtilières envahirent cette parcelle et détruisirent 80 °/₀ des jeunes plants.

Il fut procédé à leur remplacement avec des germes retardataires dans la partie la plus humide de cette parcelle (on verra au paragraphe *Rendement* les résultats); en outre, il fut fait une forte application de sulfure de carbone en capsules dans cette partie, qui fut une des plus endommagées par les ravageurs.

La végétation cessa complètement à partir du 15 septembre dans les parties premières plantées et très sèches; seuls les pieds mis en remplacement après le 10 juin continuèrent leur végétation.

Dans les parties humides et très fraîches et fraîches, la végétation continua jusqu'au 12 octobre où une forte gelée brûla les feuilles sans endommager ni les tiges ni les tubercules.

Tiges et feuilles. — Le développement des tiges et des feuilles se fit normalement, conformément aux précédents (*fig. 5*).

Les tiges sont d'un beau vert foncé avec des maculatures violettes allongées surtout aux aisselles des feuilles.

Dans le terrain n° 2 et dans les parties sèches et très sèches du terrain n° 1, les tiges ont un aspect plus ramifié et plus buissonnant ou roncinier, les tiges érigées émettent des tiges secondaires et fort peu de tiges tertiaires.

Une des caractéristiques du *solanum Commersoni* est de n'émettre qu'une seule tige par plant; cela est vrai pour *solanum Commersoni violet* aussi bien sur les plants provenant de germes séparés que sur les pieds issus soit de tubercules aériens ou de tubercules d'hiver ou de gros tubercules mûrs ou de morceaux de tubercules.

Il a été relevé, en 1903, deux exceptions et, en 1904, une exception franche sur la plantation en morceaux du terrain très fertile n° 3 et deux autres assez douteuses, car les tiges étaient en partie séchées, et comme un pied a présenté à la fois une tige morte, une tige coupée déjà flétrie et une tige jeune nouvelle de quelques centimètres de longueur seulement, on peut supposer qu'il s'agit là de formations successives.

Sur le pied qui portait deux tiges bien conformées, une était beaucoup plus forte que l'autre.

En terrain très frais et humide, les tiges primaires ont développé comme précédemment des tiges secondaires et sur celles-ci ont apparu



des tiges tertiaires, mais ces dernières, par suite soit de la sécheresse, soit de la tardivité de la plantation, soit de la gelée du 12 octobre, ne se sont pas beaucoup développées.

Dans les parties très sèches, sèches du terrain n° 1, la longueur des tiges n'a pas sensiblement dépassé 60 centimètres ; dans les autres parties, elle a progressé suivant le degré d'humidité du sol jusqu'à atteindre $3^m,50$ en sol humide.

Dans le terrain n° 2, les tiges n'ont pas dépassé 1 mètre et, dans les parties sèches, 60 centimètres en moyenne.

Dans le terrain très fertile frais, il en a été mesuré une développant $4^m,50$.

Plusieurs pesées de tiges furent effectuées en 1904 après la gelée du 12 octobre, alors que les feuilles étaient brûlées et détachées ; il a été trouvé fréquemment en terrain n° 1 humide des poids de 3 kilogr. et en terrain n° 3 très fertile et frais il a été trouvé un pied accusant $4^{kg},500$ de fanes.

L'enchevêtrement des tiges sur le sol dans les parties moyennes, fraîches, très fraîches, humides et submergées ne laisse place à aucune autre végétation.

Les tiges sont très grosses et se lignifient rapidement à la base ; elles présentent une résistance étonnante à la pourriture, et elles conservent l'aspect de petits morceaux de bois sec longtemps après l'arrachage, même après un séjour prolongé dans un terrain très humide.

Les feuilles sont analogues à celles des pommes de terre ordinaires, avec un aspect plus charnu, plus tomenteux ; elles sont d'un vert foncé.

En terrain sec, elles sont moins larges.

Fleurs et fruits. — Comme précédemment, la floraison a été très peu abondante, elle a été entravée par la sécheresse, elle s'est continuée jusqu'aux gelées. Les fleurs, d'après l'examen fait par M. Heckel, sont fertiles et contiennent du pollen.

Il a été fait de nombreux essais d'hybridation (plusieurs centaines) et de forçage à la fructification, aucun n'a réussi ; sur sept mille cinq cents pieds environ échappés aux ravages des courtilières, il n'a été



Fig. 5. — *Solanum Commersoni violet*. Pied entier.

Tous les tubercules ont pu être soulevés à la fois sur la pelle que maintient un aide et qui est posée sur la table. Une seule tige unique que l'on voit ramenée en avant a produit la totalité des ramifications qui abritent le personnage et cachent l'aide qui maintient la pelle.

possible de découvrir que deux fruits dont un seul avait un développement normal.

En 1903, aucun fruit n'avait paru.

Ce fruit très gros, sphérique, est analogue à celui des pommes de terre, cependant il porte une dépression et un sillon assez marqué qui le rapproche du fruit du type primitif.

Le fruit, moins bien développé, portait un sillon plus accentué, la peau des deux fruits portait des traînées violettes très franches.

Les fleurs ont conservé leur coloration violette, elle n'ont aucun parfum appréciable.

Le fruit n'a pas dégagé d'odeur, à l'encontre des fruits du type primitif.

Racines et stolons. — Le système radiculaire du *solanum Commersoni violet* se compose essentiellement de deux ou trois très grosses racines, très fortes, qui plongent très profondément dans le sol, aussitôt le départ du collet de la plante ; il a été trouvé des tubercules formés entre ces deux ou trois racines et comme enfermés entre elles (*fig. 5*).

Les radicelles sont très rares au collet, il n'en a été remarqué quelquefois que sur les pieds dévastés par les courtilières et replantés, et aussi sur quelques pieds issus de tubercules aériens en terrain très sec.

Le développement des **stolons**, nul en 1903, ne s'est pas plus manifesté en 1904 dans les parties fraîches ou très fraîches ; il ne s'est manifesté que sur de très rares pieds et presque toujours sur les pieds qui ont donné des variations de formes ou de colorations de tubercules.

Au contraire, dans les parties sèches et très sèches, les stolons se sont formés après la pluie du 22 juin, lorsque la sécheresse a commencé ; ces stolons partaient soit du collet de la plante, soit de l'extrémité des tubercules premiers formés dont le grossissement était arrêté par la sécheresse ; cela a été remarqué surtout dans les parties très sèches.

La longueur des stolons n'a jamais dépassé 20 centimètres et le plus souvent atteignait 5 à 10 centimètres.

Ces stolons se sont divisés en deux groupes : les uns très courts (4 à 5 centimètres) ont assez souvent formé des tubercules tardifs, les autres ont cherché à pénétrer dans les couches profondes du sol, mais arrêtés par la compacité il se sont soulevés en arc de cercle au-dessus du sol et ont ainsi parfois formé des tubercules aériens.

Quelques stolons ont émis des radicelles, deux ont émis des tiges aériennes qui ont disparu rapidement.

Les stolons étaient gros et charnus.

Il semble que l'apparition des stolons ait été une forme de la lutte de la plante contre la sécheresse.

Lenticelles. — Les lenticelles existent sur le *solanum Commersoni violet.*

Elles disparaissent en partie ou du moins se résorbent après l'arrachage. Leur rôle est assez difficile à établir ; si elles ne jouent qu'un rôle respiratoire, il est assez remarquable qu'elles ne se manifestent avec plein développement que dans la partie la plus profondément enfouie du tubercule, et que de plus elles aient été beaucoup plus rares dans les parties fraîches ou humides que dans les parties sèches.

Pendant les excessives sécheresses de juillet et août, plusieurs fois des tubercules ont été découverts avec précaution : la partie supérieure avoisinant la surface du sol était chaude et lisse ; au contraire, lorsqu'on relevait avec précaution le tubercule, sans briser le lien le rattachant au collet de la plante, on trouvait la face inférieure fraîche et humide, couverte de lenticelles très apparentes et très développées et affectant la forme de petits suçoirs; la terre en contact avec cette partie du tubercule était toujours fraîche et humide, tandis que pour trouver une fraîcheur analogue dans les parties du sol non recouvertes par un tubercule, il fallait creuser à 10 ou 15 centimètres.

De plus, aussitôt exposées à la lumière solaire, les lenticelles se refermaient, se résorbaient de façon à ce que la peau devînt lisse au toucher, et cela en quelques minutes.

Les mêmes tubercules, recouchés avec soin dans leur berceau, recouverts de terre comme avant et visités quelques jours après,

portaient les mêmes lenticelles en pleine fonction, ouvertes et saillantes.

Cette vérification a été renouvelée un grand nombre de fois.

Tubercules

Tubercules souterrains. — *Formation des tubercules.* — Les tubercules se forment autour de la tige, en contact immédiat avec elle, à la partie supérieure du terrain, dont ils émergent en forme de butte. Malgré leur sortie du sol, ils verdissent peu, par suite, probablement, de la protection des rameaux très touffus qui interceptent les rayons solaires.

La formation des tubercules souterrains, en 1904, paraît s'être faite très rapidement après la plantation, et, en une seule fois, leur grossissement a été entravé ou ralenti par les sécheresses extrêmes de l'année, surtout en terrain très sec et sec ; le grossissement a, au surplus, suivi une marche parallèle à celle de la végétation.

L'atténuation de la sécheresse a provoqué un grossissement extrêmement rapide, qu'il était possible de suivre à l'œil, à vingt-quatre heures d'intervalle ; il a été fait plusieurs fois l'expérience suivante : des tubercules émergeant du sol étaient recouverts de terre, suivant la pente naturelle (45°), en quantité plus que suffisante pour cacher complètement les tubercules ; et souvent, le lendemain, et toujours le surlendemain, la terre était écartée de telle façon que les tubercules étaient redevenus très apparents, et cela par des temps absolument calmes, sans vent, ni pluie, ni rosée.

La coloration des tubercules est variable avec l'âge : jeunes, ils sont blancs, avec des yeux roses ou violacés ; en grossissant, ils prennent une teinte rosée qui se fonce, tourne au violet, et, à la maturité, ils sont d'un violet plus foncé. A l'arrachage, la coloration est uniformément violet rouge foncé ; plus tard, un affaiblissement de la couleur se produit. La peau, très fine, très lisse, s'écorche facilement, en laissant apparaître une seconde peau, verte, qui se teinte rapidement de violet. La chair, de couleur mal fixée, varie du blanc au jaune ; parfois, certains tubercules sont veinés de stries verdâtres ou violacées.

En 1904, la coloration des tubercules a été identique à celle des années précédentes; les formes tendent au contraire à se régulariser, les articulations compliquées et bizarres diminuent en nombre, les formes plates, longues et régulières affectent 60 °/₀ de la récolte au lieu de 40 °/₀ en 1903 et 25 °/₀ en 1902.

Les pieds détruits par les courtilières, en juin, et replantés, ont fourni en octobre des tubercules dont quelques-uns ont atteint la grosseur d'un œuf de poule.

Nombre et poids des tubercules. — Il semble que le nombre des tubercules n'augmente pas sensiblement après la première formation.

A la suite des ravages des courtilières, il a été fait des arrachages successifs en terrain sec et très sec; les résultats sont rapportés au tableau suivant et ont porté sur plusieurs centaines de pieds à chaque opération.

En terrain frais, très frais ou humide, la végétation trop abondante ne permit pas de faire les arrachages successifs en nombre suffisant pour établir des moyennes sérieuses.

L'arrachage général commença le 12 octobre, à la suite de la forte gelée du matin.

Dans les comptes suivants, il n'a pas été fait état des petits tubercules de la grosseur d'une petite noix et au-dessous, pour les deux raisons suivantes : leur nombre était insignifiant; en effet, il en a été ramassé 14 kilogr. au total, d'un poids moyen de 2gr,5, ce qui représente à peine trois mille tubercules dont la moitié provenait des pieds ravagés par les courtilières, et repiqués, ou des ramassages antérieurs au 15 septembre et au 12 octobre ; l'autre raison est que le comptage des tubercules petits n'offre qu'un intérêt botanique : ils eussent été presque tous laissés sur le terrain dans un arrachage agricole.

Dans les terrains nos 2 et 3, les dommages des courtilières et des vers blancs ont été tels qu'il a été impossible de trouver plus de dix à quinze pieds de chaque nature à peu près intacts, et, ce qui est le plus curieux, c'est que les pieds les moins atteints étaient groupés par série de cinq à huit ou dix, presque sans vides entre eux.

Il est intéressant de noter que, à terrain égal, les plantations de tubercules entiers ou en morceaux ont fourni des poids supérieurs

NATURE DU PLANT	NATURE DU TERRAIN	TUBERCULES Nombre par pied	Poids par pied	Poids moyen	DATE de l'arrachage
	Terrain n° 1:				
Aériens	Très sec	3,8	125	33	10 août.
		3,8	175	46	30 août.
		3,8	240	63	15 sept.
		3,8	286	75	12 oct.
D'hiver[1]	Très sec	3,8	125	33	10 août.
		3,9	175	45	30 août.
		4,05	237	58	15 sept.
		4,05	245	60	12 oct.
Germes de tubercules mûrs	Très sec	2,7	150	55	10 août.
		3	200	62	30 août.
		3	333	111	15 sept.
		4,5	338	75	12 oct.
Idem	Sec	2,6	175	67	10 août.
		2,8	200	71	30 août.
		3	325	108	15 sept.
		4,5	666	142	12 oct.
Idem	Moyen	3,9	250	58	10 août.
		4	325	81	30 août.
		5,5	1 300	236	12 oct.
Idem	Très frais	7	1 750	250	Idem.
Idem	Humide	5,4	1 800	335	Idem.
Idem	Submergé (pieds non détruits)	8,5	1 466	172	Idem.
Idem	Idem (pieds remplacés)	5	607	121	Idem.
Idem	Moyen	5,5	1 300	236	Idem.
Entiers ou en morceaux	Idem	6,8	1 850	295	Idem.
	Terrain n° 2:				
Germes de tubercules mûrs	Sec	7	765	109	Idem.
Idem	Arrosé	5,8	945	160	Idem.
D'hiver[1]	Sec	7	840	120	Idem.
Idem	Arrosé	11	2 135	198	Idem.
	Terrain n° 3:				
Germes de tubercules mûrs	Idem	9,7	1 870	193	Idem.
Entiers ou en morceaux	Idem	8	2 600	325	Idem.

1. Tubercules formés pendant l'hiver sur les tiges enterrées.

aux plantations de germes séparés, de : 39 °/₀, terrain n° 3 ; 42 °/₀, terrain n° 1.

Il est intéressant aussi de noter deux comparaisons avec les pommes de terre de pays :

Dans le terrain n° 1, il fut planté dans la partie la plus sèche, sous

des arbres, des tubercules (entiers ou en morceaux) d'espèces françaises locales de grande culture, côte à côte avec des germes de *solanum Commersoni violet;* il fut trouvé le 12 octobre :

	TUBERCULES	POIDS total	POIDS moyen
	—	—	—
Variétés françaises	3,4	200	58
Germes de *solanum Commersoni violet*. .	3	300	100

Une plantation de tubercules entiers eût donné 40 °/₀ en plus, soit 420 et 140.

En outre, dans un terrain parallèle et identique au terrain n° 1,

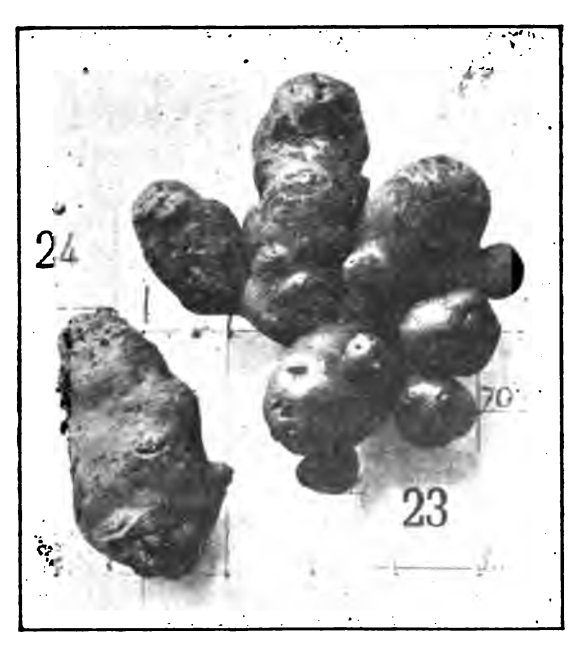


Fig. 6. — Tubercules souterrains de *solanum Commersoni violet.*

23.	Articulé rond et plat	1 650 grammes.
24.	Long, aplati (forme améliorée) .	430 —

présentant les mêmes gradations de sécheresse, une plantation d'early rose fut faite sur une tranchée d'un mètre de profondeur destinée à une plantation d'arbres retardée, sur une couche consi-

dérable d'engrais (fumier et vidange) recouverte de la terre de la fouille, les pieds d'early n'ont fourni au maximum, pour le plus lourd, que 1 200 grammes de tubercules. La plantation avait été faite en morceaux, tandis qu'il a été trouvé, sous des pieds nés de germes de *solanum Commersoni violet*, des poids de tubercules de :

Terrain très sec	1 200	grammes
— sec	1 800	—
— moyen	2 400	—
— très frais	3 500	—
— n° 2 frais	2 750	—
— n° 3 (morceaux)	3 600	—

Enfin, il a été trouvé des tubercules pesant de 1 500 à 1 650 grammes à l'arrachage.

Toutes les moyennes précédentes ont été relevées dans des plantations faites à 50 × 50 centimètres d'écartement ; il est intéressant de noter les poids fournis par les pieds situés sur les bords des sentiers de service, qui disposaient d'un espace de 350 centimètres carrés au lieu de 250 dans les plantations du terrain n° 1.

NATURE du terrain	NOMBRE des tubercules par pied	POIDS par pied	POIDS MOYEN
Sec	5,3 au lieu de 4,5	1 382 au lieu de 666	250 au lieu de 142
Moyen	7,25 — 5,5	1 975 — 1 300	270 — 236
Très frais	6,5 — 7	2 720 — 1 750	420 — 250

Ce qui représente des augmentations par pied respectivement de plus de 50 à 100 °/₀.

Pour rechercher l'influence du calcaire sur le *solanum violet*, il fut fait dans le terrain n° 1, en plusieurs parties, des apports considérables de tuffeau ou calcaire magnésien, très abondant dans la région.

Cet apport avait été assez important pour que la couche supérieure du sol ait pu rester meuble pendant les sécheresses les plus violentes.

La composition de ce calcaire magnésien est en moyenne la suivante :

Carbonate de chaux	50 à 70 %
Carbonate de magnésie	40 à 20
Matières diverses (argile. etc.)	10

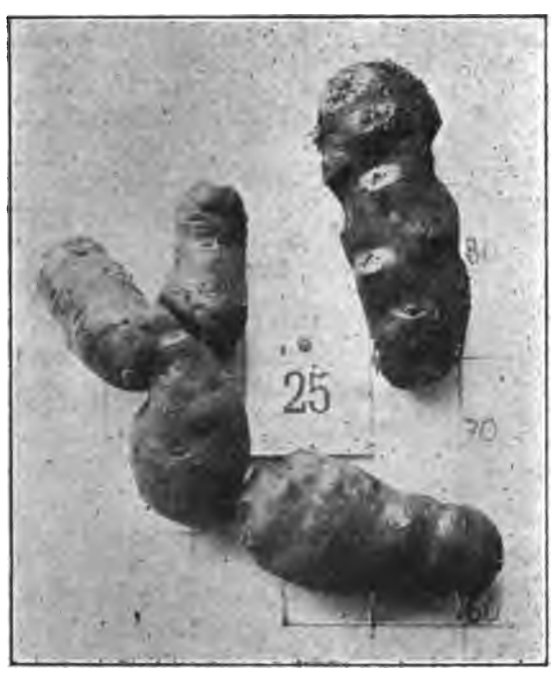


Fig. 7. — Tubercules souterrains de *solanum Commersoni violet.*

Articulé, long et plat	1 150 grammes.
Long aplati (forme améliorée) . .	650 —

En terrain très sec, les poids suivants furent trouvés :

NATURE DU PLANT	NOMBRE de tubercules par pied	POIDS par pied	POIDS moyen	AVEC ou sans calcaire
—	—	—	—	—
		Grammes	Grammes	
Aérien	3,8	240	63	Sans
	5,6	425	76	Avec
D'hiver.	5,05	245	60	Sans
	5,8	375	75	Avec
Germes de tubercules mûrs.	4,5	338	75	Sans
	5,4	475	88	Avec

Dans les parties fraîches et humides, les courtilières ne permirent pas de relever des chiffres intéressants ; cependant, les constatations ont été analogues.

On peut supposer que la magnésie a joué un rôle fertilisant, à moins que l'action de ce calcaire ait été toute mécanique et ait eu pour résultat d'affaiblir la compacité de la couche supérieure du sol, et, par suite, de diminuer l'évaporation, conséquemment l'assèchement du sol.

Les poids extrêmes de tubercules relevés à l'arrachage ont été les suivants, en grammes :

		Années			
		1901	1902	1903	1904
Tubercules souterrains.	Articulés ronds .	150 (1)	550	1 500	1 650 (2)
	plats. .	aucun	aucun	1 200	1 450
	Ronds isolés . .	100	200	900	800
	Plats isolés. . .	aucun	aucun	900	1 150
	Longs isolés . .	aucun	150	400	1 200
Tubercules aériens.	Articulés. . . .	aucun	10	250	1 140
	Longs.	aucun	5	200	750

Tubercules aériens (*fig. 8 et 9*). — Des renflements tubériformes se montrent aux aisselles des feuilles, sur les tiges, un peu partout ; ils émettent parfois des feuilles et restent stationnaires en forme d'olive allongée ; d'autres fois, ils se transforment en véritables ramifications assez longues, portant des feuilles. D'autres se transforment en véritables tubercules aériens (surtout sur les pieds dépourvus de fleurs et aussi sur les pieds dont le système radiculaire souterrain a été endommagé par les insectes) ; certains de ces tubercules ont atteint 250 grammes en 1903 et 1 140 grammes en 1904 (voir le tableau précédent). Quelques-uns de ces tubercules sont portés au bout d'un long filament. Les colorations des tubercules aériens sont variables.

---

1. Ces tubercules, arrachés en juillet, ne furent pas pesés ; leur poids est indiqué approximativement.

2. En 1904, il n'y a que très peu de tubercules articulés, ronds, qui n'aient pas au moins une partie plate.



Ceux qui restent petits, en forme d'olive, sont d'un vert brun très foncé, avec des stries violettes ; les gros prennent les mêmes colorations que les tubercules souterrains, avec des teintes plus foncées auprès des tiges d'où ils partent. Les tubercules aériens restés à l'état herbacé sèchent assez rapidement, lorsqu'on les détache du rameau mais ils ne perdent pas pour cela leur faculté germinative ; sur treize, récoltés en 1902 et mis en godets au printemps 1903, huit germèrent.

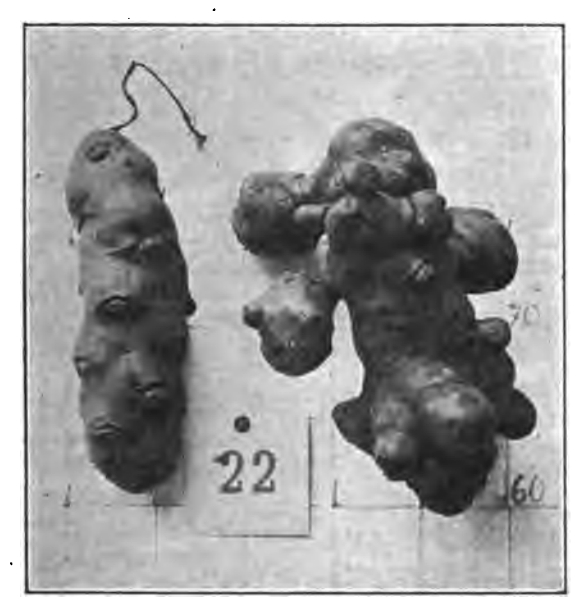


Fig. 8. — Tubercules aériens de *solanum Commersoni violet*.

Articulé	1 140 grammes.
Long.	850 —

En 1904, les formes aériennes apparurent un peu partout, même en terrain très sec ; mais elles ne prirent de développement appréciable que dans les parties moyennes et elles devinrent considérables dans les parties humides.

Le nombre et le poids sont en général en raison inverse des nombres et des poids des tubercules souterrains sous le même pied ; cependant, certains pieds furent abondamment pourvus des deux récoltes. Il a paru que les dommages des courtilières et des vers

blancs, en terrain très humide, avaient été en partie compensés par la récolte de tubercules aériens.

Voici les productions relevées :

NATURE du terrain	NOMBRE par pied.	POIDS par pied	POIDS MOYEN
—	—	—	—
			grammes
Très sec	0,3	négligeable	3
Sec	0,6	—	3
Moyen	1	8	8
Très frais.	1	161	161
Humide	8	160	57

Ces chiffres sont des moyennes, mais ils ne donnent pas une impression exacte en rapport avec la réalité, car à côté de pieds garnis de tout petits tubercules aériens allant jusqu'à 20 grammes, il s'est trouvé en terrain frais et humide des pieds portant des tubercules aériens de 400 et 500 grammes en assez grande abondance; il en a été trouvé un formé vers l'extrémité d'une branche (1m,50 de longueur) qui pesait 1 140 grammes ; il était, au surplus, complètement enterré, et c'est par hasard qu'il a pu être remarqué.

Les formes des tubercules aériens sont assez diverses, et il est impossible de les classifier ; cependant, lorsqu'ils atteignent des poids supérieurs à 30 ou 50 grammes, ils prennent des formes allongées régulières, parfois, mais rarement, articulées.

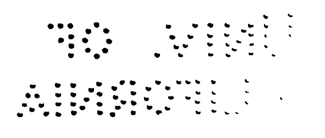
La formation des tubercules aériens est nettement indépendante de tout enracinement des tiges ; plusieurs essais faits en ce sens n'ont donné aucun résultat. Et les formations de tubercules aériens n'ont pas du tout été favorisées par ce moyen.

Le développement s'est fait très rapidement, surtout à l'arrière-saison, lorsque les sécheresses ont été un peu atténuées par les nuits fraîches.

Ces tubercules ont tous manifesté une tendance à s'enfoncer dans le sol.

En terrain très fertile (n° 3), les formations aériennes ont été assez nombreuses : elles ont été plus rares que dans le sol n° 1 ; elles ont été plus rares dans le sol n° 2, où elles n'ont pas dépassé le poids de 150 grammes.

Sur aucun d'eux, il n'a été remarqué de lenticelles.



Il se sont formés indistinctement sur toutes les parties des tiges aux aisselles des feuilles.



Fig. 9. — *Solanum Commersoni violet*. Pied garni de ses tubercules aériens (terrain humide).

Les tubercules souterrains ayant été détachés, un aide soulève la tige; on voit les tubercules aériens restés attachés aux ramifications par leur pédoncule.

Rendements.

En 1901, le pied-mère avait fourni deux tubercules non pesés au mois de juillet, mais avoisinant 150 grammes chacun; à l'arrachage, il fut trouvé six autres tubercules faisant au total 550 grammes, soit pour le pied : 850 grammes.

En 1902, les trois pieds sauvés donnèrent :

Tubercules souterrains.	4kg,500
Tubercules aériens	0 ,040
TOTAL	4kg,540

Un seul de ces trois pieds fournit 3 kilogr. de tubercules.

En 1903, deux plantations différentes furent faites :

1° En terrain très fertile (n° 3), furent plantés des tubercules entiers ou coupés en morceaux, à 30 ou 33 centimètres sur 50 de distance, soit soixante-deux mille pieds à l'hectare :

Cinquante-deux pieds réussirent sur cinquante-deux plantés ; il fut ramassé à l'arrachage :

Tubercules souterrains	86kg,800
Tubercules aériens.	1 ,550
TOTAL.	88kg,350

Soit un rendement de 103 000 kilogr. à l'hectare, dont 3 000 kilogr. de bulbilles.

2° En terrain maigre, siliceux (n° 2) :

La plantation fut effectuée près d'un mois plus tard que la précédente, à l'aide de quarante et un pieds au total.

Cinq pieds furent détruits, au bout d'une rangée, quelques jours après la plantation, faite à écartement de 50 centimètres en tous sens.

Au moment de la plantation, la grosseur des plantules ne dépassait pas 5 millimètres ; quelques-unes avaient à peine 3 millimètres.

Sur les trente-six pieds restant, douze furent coupés par les courtilières au mois de juin ; il fut procédé, le 20 juin, à la récolte des tubercules formés et les fanes furent immédiatement replantées en terre, sur place.

Le 10 octobre, à l'arrachage définitif, on pesa :

Récolte des douze pieds arrachés en juin.	11kg,500
Récolte des vingt-quatre pieds arrachés en octobre	30 400
Tubercules nouveaux formés sous les fanes des douze pieds arrachés en juin	2 200
Tubercule aériens formés sur les tiges des trente-six pieds.	4 600
TOTAL.	48kg,700

Les pieds étaient espacés de 50 centimètres en tous sens ; soit, pour une plantation de quarante mille pieds à l'hectare, un rendement de 53 000 kilogr., dont 4 000 kilogr. de tubercules aériens.

A titre de comparaison, il est impossible de citer d'autre fait qu'une production ayant avoisiné 55 000 kilogr. à l'hectare, dans un terrain très fertile, obtenue aussi sur un essai en petite surface, il y a quelques années, en des conditions aussi identiques que possible, avec des pommes de terre dites à grand rendement. C'est le plus haut chiffre atteint, depuis de longues tentatives de culture de nouvelles plantes alimentaires à tubercules.

En 1904, le calcul des rendements est compliqué par les dégâts des courtilières, qui ont supprimé un tiers des pieds en moyenne, complètement, et par les ravages des vers blancs, qui ont fortement endommagé les pieds restant.

Pour avoir un rendement exact rapporté à la surface, il faudrait donc multiplier les poids obtenus par pied par le nombre de pieds à l'hectare et en soustraire le tiers.

Ce serait exact en fait ; mais il apparaît que les dégâts causés aux pieds non complètement détruits, et qui tous ont été comptés scrupuleusement comme unités au comptage des pieds et des tubercules, compensent la réduction du tiers, sans compter l'influence néfaste du sulfure de carbone dans les parties les plus maltraitées par les courtilières.

Il ne paraît donc pas exagéré de dire que les poids trouvés correspondent à un rendement normal, dans des conditions de grande culture ordinaire, où les dommages des courtilières et des vers blancs seraient probablement sans grande importance.

Ce qui démontre que ce raisonnement peut être admis, ce sont les chiffres relevés dans une vingtaine d'emplacements de trois à cinq mètres carrés chacun, qui ont été relativement indemnes de toute destruction sérieuse ; ces chiffres seront rapportés à la suite du tableau des rendements.

Le tableau comprend deux colonnes ; la première donne les chiffres relevés dans le terrain n° 1 où la plantation a toute été effectuée à l'écartement uniforme de 50 × 50 centimètres, soit quarante mille pieds à l'hectare.



La seconde se réfère aux rendements constatés sous les pieds plantés le long des sentiers de service, avec un écartement donnant une plantation de vingt-huit mille cinq cents pieds à l'hectare.

Dans les terrains nos 2 et 3, l'écartement des pieds a bien été à plantation de 50 × 50 centimètres; mais la destruction des plants par les ravageurs a porté ces écartements à des chiffres irréguliers et divers, tellement variables qu'on ne peut donner de chiffres sérieux.

NATURE du terrain	PLANT EMPLOYÉ	40 000 PIEDS à l'hectare	28 500 PIEDS à l'hectare
Très sec	Aérien	11 200	»
Idem	D'hiver.	9 800	»
Idem	Germes de tubercules .	13 300	»
Sec	Idem.	26 600	39 000
Moyen	Idem.	52 000	56 000
Très frais . . .	Idem.	76 000	77 000
Humide	Idem.	88 000	»

Les chiffres précédents ont été déduits de pesées de deux cents à quatre cents pieds pour chaque zone de terrain n° 1. Les zones intermédiaires ont fourni des chiffres intermédiaires.

Il a été trouvé, dans le terrain n° 1, un certain nombre d'emplacements où les ravages des courtilières et des vers blancs ont été moins sérieux. De même dans les terrains n° 3 et n° 2. Voici les poids (par pied) trouvés :

		POIDS MOYEN par pied
Terrain n° 1 :		
Sec	88 pieds en 7 emplacements . . .	850 gr.
Frais	108 — 8 — . . .	1 610
Très frais . . .	42 — 3 — . . .	2 250
Humide.	8 — 2 — . . .	3 120
Terrain n° 2 :		
Sec	25 pieds issus de germes	750 gr.
Arrosé.	12 — —	920
Sec	15 — de tubercules d'hiver.	825
Arrosé.	13 — — . . .	2 125
Terrain n° 3 :		
Très fertile . . .	17 pieds issus de germes	1 825 gr.
— . . .	8 — de morceaux (réunis ensemble). . . .	2 600

On voit que certains rendements atteindraient et dépasseraient même 100 000 kilogr. à l'hectare.

Les chiffres qui précèdent démontrent la très grande fécondité du *solanum Commersoni violet* dans les terrains humides.

Comme comparaison avec les chiffres enregistrés en 1904, on peut citer les faits suivants : dans la commune de Verrières (Vienne), les rendements n'ont pas dépassé, pour les pommes de terre de grande culture, sensiblement 5 000 kilogr. à l'hectare; et on cite avec admiration une récolte de 500 doubles décalitres, soit 7 500 kilogr.

Plusieurs agriculteurs des environs ont affirmé n'avoir connu aucun rendement supérieur à 10 000 kilogr. ; seul M. de Larclause, à la ferme-école de Montlouis (Vienne), a pu enregistrer 25 000 kilogr., mais dans des conditions de culture et de fumure dont nos agriculteurs n'approchent pas.

Les rendements par pied relevés ont été, par rapport aux variétés européennes plantées côte à côte, un peu inférieurs (de quelques grammes) en terrain très sec chez M. de Larclause, à la ferme de Noisy-le-Roi (dépendant de l'Institut agronomique) ; sensiblement égaux, un peu supérieurs en terrain sec chez M. de Vilmorin, à Verrières-le-Buisson ; supérieurs sensiblement dans les cultures de M. Grandeau, au Parc-aux-Princes, de M. Prilleux, à la rue d'Alésia.

Ces deux derniers sols sont très secs, mais à la rue d'Alésia ils ont été fortement arrosés.

On peut donc admettre qu'en terrains secs, les rendements avoisinent sensiblement ceux des pommes de terre européennes et vont en augmentant pour atteindre des chiffres considérables en proportion du degré d'humidité du sol.

Seconde production d'hiver. — *Observation de 1903.* — Aussitôt l'arrachage d'octobre, les fanes provenant de la plantation en terrain siliceux furent enterrées à moitié dans une fosse sur le même terrain et abritées sous une couverture de fougères.

Le 20 décembre, une visite permit de constater la formation d'un grand nombre de tubercules sur les tiges, soit sur le sol, soit en terre; la présence d'une colonie de rats obligea à ramasser tous les

tubercules formés hors du sol, au nombre de 210, de grosseur variant entre une tête d'épingle et une noisette. Il ne fut pas touché à ceux existant sous terre, pour ne pas déranger les fanes.

Le 25 février 1904, une récolte définitive permit de ramasser trois cents autres petits tubercules, de grosseur variable, allant jusqu'à celle d'un œuf de perdrix. Les ravageurs souterrains avaient creusé de nombreuses galeries dans le sol, et il a été trouvé un grand nombre de débris de tubercules à moitié mangés : d'où l'on peut conclure à une perte très sensible.



Fig. 10. — Tubercules formés pendant l'hiver, sur les tiges, après arrachage.

Un certain nombre des fanes, ainsi abritées, avaient conservé toute leur verdeur de jeunes plantes.

Certaines fanes avaient été enterrées en même temps que les autres; mais elles ne furent abritées sous les fougères que quinze jours environ plus tard, alors que la partie aérienne paraissait complètement desséchée. Sur ces tiges ainsi traitées, la production hors du sol avait été presque nulle, tandis que celle souterraine a été pareille aux autres.



Fig. 11. — Fragments de tiges abritées pendant l'hiver, portant des tubercules au mois de mars 1904.

Certaines fanes ne furent enterrées que plusieurs jours après l'arrachage ; leur production fut presque nulle.

La formation continuelle de tubercules au pied des tiges, malgré l'enlèvement de ceux déjà formés, ouvre une perspective bien intéressante pour l'introduction de cette variété de *solanum Commersoni* dans la culture maraîchère.

Les tubercules de seconde production au pied des fanes sont aussi savoureux que ceux des variétés de primeurs de table les plus estimées.

En **1904**, l'étonnante fécondité du *solanum Commersoni violet* s'est encore manifestée, cette année, par la production de tubercules sous les pieds arrachés et replantés aussitôt sur place.

Les fanes arrachées le 12 octobre et jours suivants sont actuellement, sous leur abri de fougère, couvertes de petits tubercules nouveaux.

Productions spéciales. — Il paraît curieux de signaler les deux faits suivants :

Plusieurs morceaux de tubercules de la grosseur d'une petite noisette avaient été mis en godets en mars dernier, par suite de la supposition de l'existence d'un œil; beaucoup ont germé, d'autres n'ont émis ni germes ni racines, mais ils ont formé de petits tubercules qui, restés enterrés tout l'été, sont demeurés intacts et ont commencé à végéter fin octobre.

Enfin, quelques-uns de ces fragments de tubercules ont formé, du côté de la coupe, des renflements violets qui sont restés stationnaires et intacts tout l'été dans la terre.

Conservation. — La conservation a été parfaite; en 1902 et en 1903, il ne s'est produit aucune pourriture ; sur la récolte de 1903 et lors de la mise des germes en godets, il n'a été éliminé que trois tubercules avariés; dans le courant de l'hiver, trois visites successives en avaient fait supprimer cinq seulement.

Les tubercules aériens se subdivisent en deux groupes, au point de vue de la conservation, les gros tubercules arrivés à plein développement se conservent aussi bien que les souterrains; au contraire, les tubercules petits restés à l'état herbacé doivent, pour conserver leurs facultés germinatives, être enterrés dans du sable cru de rivière: ceux ainsi conservés ont donné à la levée une proportion de 90 °/₀ de succès ; au contraire, ceux conservés à l'air libre n'ont fourni que 40 °/₀ environ en 1904.

La conservation des petits tubercules formés pendant l'hiver sur

les tiges exige le même ensablage depuis la récolte jusqu'à la plantation, sans quoi ils se rident et se dessèchent.

En 1904-1905 la conservation se maintient irréprochable (voir *infra, Maladies*).

Maladies. — Il n'a été constaté aucune trace de maladie d'aucune sorte, ni en 1901, ni en 1902, ni en 1903, sur la variété violette du *solanum Commersoni.*

Cette immunité pendant ces trois années fertiles en éclosions de maladies cryptogamiques, surtout l'année 1903, permet de conclure à une immunité absolue.

Pour donner encore plus de certitude à cette affirmation, voici une série de faits probants relevés en 1903 : les variétés françaises de merveille d'Amérique, de fleur-de-pêcher, de royale kidney, d'early rose étaient toutes très voisines, et toutes elles furent très atteintes ; de plus, les plantations de *solanum Commersoni type primitif,* qui furent un peu touchées, n'étaient éloignées que de quelques mètres.

Enfin, deux pieds de merveille d'Amérique avaient été plantés assez près de la plantation en terrain siliceux pour que les fanes fussent emmêlées : toutes les tiges de cette variété furent totalement détruites, et les tubercules sains, trouvés à l'arrachage du tout, n'atteignaient pas 15 °/₀ pour la merveille d'Amérique ; au contraire, le *solanum Commersoni violet* était absolument indemne.

Auprès de la plantation en terrain fertile, deux pieds de fleur-de-pêcher furent plantés, aussi assez rapprochés pour que les tiges fussent mêlées : la destruction des tiges fut complète pour la fleur-de-pêcher, et elle ne donna à l'arrachage définitif que 10 °/₀ de tubercules sains ; là encore, la variété de *solanum* à peau violette fut absolument indemne.

Lors de l'invasion de mildiou, du 25 juin au 10 juillet, il fut donné un traitement à la bouillie bordelaise sur la moitié de chaque plantation, et sur aucune partie, traitée ou non traitée, il ne fut trouvé trace de maladie.

En 1904, le *solanum Commersoni violet* s'est montré absolument réfractaire aux maladies cryptogamiques, à Verrières, dans toutes

les plantations : aussi bien sur les parties non traitées que sur celles qui avaient, par prévision d'une comparaison possible, reçu un traitement à la bouillie bordelaise.

Cependant, les pommes de terre plantées dans le voisinage immédiat et les pieds du type, plantés côte à côte, ont été éprouvés : les premières fortement en juillet, puis détruites en septembre ; les seconds, légèrement atteints en juillet et un peu endommagés en septembre.

Il faut noter que le terrain n° 1 de la plantation de *solanum Commersoni violet* passe, dans la commune, comme absolument impropre à la culture de la pomme de terre : à cause de son peu de fertilité, d'une part, et à cause du voisinage du cours d'eau qui favorise le développement des maladies cryptogamiques.

A l'arrachage, il fut trouvé 3 kilogr. de tubercules atteints d'un commencement de décomposition et, depuis la récolte, cinq visites ont été faites pour déplacer les tubercules et les trier par formes et par grosseurs.

Ces cinq visites ont fait éliminer 2 °/₀, au total, de tubercules avariés.

Les tubercules atteints furent soumis à l'examen de M. Delacroix, directeur de la station de pathologie végétale de la rue d'Alésia ; il a bien voulu faire connaître le résultat de ses recherches par deux lettres dont voici le résumé :

Un premier lot de tubercules a révélé la présence du *verticillum candidulum ;* un autre lot a révélé celle du *bacillus subtilis* et du *bacillus mesentericus vulgatus,* et de deux moisissures dont l'une n'est pas fructifère et l'autre paraît être un *fusarium* non décrit encore, pense M. Delacroix, qui termine sa communication par ces mots : « Tout cela n'est pas parasite et n'a aucun intérêt agricole. »

Il fut trouvé, à l'arrachage, six tubercules atteints de la pourriture humide caractérisée par son odeur nauséabonde : deux se trouvaient dans la partie du terrain ombragé ; ces tubercules furent laissés sur le terrain, et quelques jours après il put en être rentré trois complètement séchés.

Les tubercules aériens bien formés n'ont pas donné de proportion plus forte au triage que les souterrains, malgré leur exposition

directe à la gelée du 12 octobre ; seuls, les tubercules herbacés ont présenté quelques sujets atteints de ramollissement, mais encore en fort petit nombre.

La décomposition remarquée à l'arrachage n'a atteint que les parties des tubercules, premières formées dans le voisinage immédiat du fragment de racine ou stolon reliant le tubercule au collet de la plante, et cette décomposition n'a pas atteint les tubercules dont on avait supprimé à la récolte le fragment de racine y attenant : c'est ainsi que le tubercule mi-partie violet, mi-partie jaune qui était porté sur le même stolon qu'un petit tubercule blanc, et qui avait été conservé avec les tubercules violets, adhérents tous ensemble au même pied, n'a pas pu être conservé intact parce que les stolons et racines se sont décomposés et se sont rompus après l'arrachage, et le tubercule violet et jaune présentait un commencement de décomposition au point immédiat de soudure avec le stolon ; aussitôt celui-ci enlevé, la partie malade a séché.

Par suite, il semblerait que les tubercules sont à l'abri de toute altération lorsque, à l'arrachage, on a soin de supprimer tout fragment de racine ou de stolon les accompagnant.

En outre, la proportion de tubercules avariés pendant la conservation varie considérablement : les lots récoltés dans la partie très sèche du terrain n° 1 ont donné 3,50 °/₀ et ceux récoltés en terrain très humide ont donné moins d'un demi pour cent. Cette observation très importante sera renouvelée l'année prochaine.

Filosité. — Lors de la mise en godets, en mars et avril 1904, il fut trouvé un certain nombre de tubercules présentant les symptômes de filosité : ces tubercules étaient tous, sans exception, ceux ramassés avant maturité, sous les pieds ravagés par les courtilières, en 1903.

Les germes de ces tubercules furent plantés à part. La végétation a donné lieu aux remarques suivantes :

La végétation a été au début plus lente et moins abondante que celle des germes de tubercules mûrs, plantés côte à côte.

Plus tard, aucune différence n'était plus appréciable.

La richesse en fécule a été inférieure de 1 à 2 °/₀ à celle des tubercules issus de germes de tubercules normaux.

La filosité ne paraît pas devoir se continuer; elle semble avoir un caractère temporaire, car quelques-uns des tubercules récoltés ont été mis immédiatement dans une pièce chauffée, et, le 20 novembre, ils ont commencé à émettre des germes très gros.

Cette récolte, mise à part, sera suivie en 1905.

Les rendements ont été notés à part; voici la liste comparativement avec ceux des germes des tubercules normaux :

NATURE DU TERRAIN	NATURE des tubercules plantés	TUBERCULES Nombre par pied	TUBERCULES Poids par pied	TUBERCULES Poids moyen	PAR 40 000 à l'hectare
Sec	Normaux	4,5	666	142	26 500
	Fileux	4,4	325	74	13 000
Frais	Normaux	5,5	1 300	236	52 000
	Fileux	4	455	111	18 000
Frais ombragé	Normaux	5,5	850	170	34 000
	Fileux	4	275	68	11 000
Très sec	Petits tubercules formés sur les fileux	3	250	83	10 000
Sec	Idem	4	375	94	15 000

Les productions des tubercules atteints de filosité ne sont donc pas négligeables.

La production sous les petits tubercules formés sur les tubercules atteints de filosité est supérieure, à terrain égal, à celle des germes séparés des tubercules.

En outre, quelques tubercules atteints de filosité partielle portaient des germes très gros; ces germes, mis à part, ont donné exactement le même poids que les germes de tubercules normaux plantés côte à côte.

La filosité pourrait donc être considérée, au moins en ce qui concerne le *solanum Commersoni violet*, comme une maladie non seulement temporaire, mais encore localisée à une partie du tubercule.

Gelée. — La clémence des hivers depuis 1901 n'a pas permis d'avoir une expérience concluante; il est intéressant de noter les faits observés, car s'ils ne démontrent pas une immunité complète des tubercules du *solanum Commersoni* à la gelée, ils permettent cependant d'espérer une résistance relative.

Un tubercule oublié dans le terrain n° 3, en 1903, a passé tout l'hiver à fleur de sol; ce terrain a été submergé pendant plus de deux mois à plusieurs reprises pendant l'hiver; au mois d'avril il a montré ses pousses; il a été divisé et replanté sur la même place; il a très bien végété, et sa production, malgré les attaques des ravageurs, a été sous les deux fragments, respectivement de 2300 grammes et 500 grammes; ce dernier pied, complètement détruit au milieu d'août, a été arraché à cette époque.

Le 12 octobre, une gelée très forte a surpris les *solanum Commersoni violets* en pleine végétation; beaucoup de tubercules étaient hors du sol, aucun ne fut endommagé en quoi que ce soit, sauf que quelques tubercules aériens, encore herbacés, se sont ramollis; plusieurs ont pourri, le plus grand nombre a séché.

Les tiges sont restées très vertes, seules les feuilles étaient grillées.

Après l'arrachage, plusieurs tubercules avaient été oubliés sur le terrain, et il en avait été laissé cinq volontairement; il en fut ramassé au total 4 kilogr., à la mi-novembre, après trois fortes gelées (le thermomètre a marqué au minima deux fois — 5°), et ces tubercules n'ont pas souffert, à l'exception de quatre ou cinq petits qui se sont ramollis.

Enfin, M. de Larclause a bien voulu indiquer que les tubercules qu'il a plantés en 1904 avaient supporté, sans dommage, une température de — 3°.

Comme comparaison, on peut citer le fait que les pommes de terre du pays, qui avaient été laissées sur le terrain le 12 octobre, ont beaucoup souffert dans toute la région.

Fécule et composition. — La richesse en fécule va en augmentant; en 1903, après la récolte, il fut fait par M. Roques une analyse complète d'un lot de tubercules à tout prendre et provenant du terrain n° 2, qui a donné les indications suivantes :

Humidité	88,43 °/o
Fécule	12,30
Cellulose	0,95
Matières grasses	0,04
— azotées	0,69
— minérales	0,89
Non dosées, pertes	0,76

En 1904, M. Coudon, chef des travaux chimiques de l'Institut agronomique, a bien voulu procéder à l'analyse des tubercules dans les trois semaines qui ont suivi la récolte ; il a opéré sur des tubercules provenant de la plantation en terrain n° 1 moyennement sec, effectuée avec des germes de tubercules. (Cette précision est importante, car les recherches par densités effectuées en même temps sur différents lots plus nombreux et rapportées plus loin ont fourni des indications très concordantes pour les tubercules provenant de ce même point.)

Voici les résultats des recherches de M. Coudon :

Composition de tubercules de « solanum Commersoni violet. »

	TUBERCULES SOUTERRAINS				TUBERCULES aériens	
	A tout prendre		Aplatis			
	Poids total	Matière sèche	Poids total	Matière sèche	Poids total	Matière sèche
	%	%	%	%	%	%
Eau	79,210	»	78,130	»	83,300	»
Fécule	14,612	70,294	16,336	74,684	11,172	66,896
Sucres	0,298	1,435	0,445	2,033	0,450	2,693
Matières grasses	0,013	0,060	0,022	0,101	0,020	0,121
Matières azotées { albuminoïdes	1,425	6,853	1,183	5,410	1,275	7,631
Matières azotées { non albuminoïdes	0,754	3,626	1,110	5,076	0,867	5,189
	2,179	10,479	2,293	10,486	2,142	12,820
Matières minérales	0,861	4,144	0,770	3,519	0,714	4,273
Cellulose	0,647	3,113	0,579	2,650	0,612	3,665

Les recherches par densité ont porté sur une centaine de lots, de 3 kilogr. chacun, et ont fourni les moyennes suivantes :

NATURE DU SOL	NATURE des plants employés	TUBERCULES essayés	FÉCULE
			%
N° 1 sec	Germes	Petits	13
Idem	. . . .	Gros	13,5
Moyen	. . . .	Ronds	*15,5
Idem	. . . .	Plats	*17



NATURE DU SOL	NATURE des plants employés	TUBERCULES essayés	FÉCULE
			°/₀
Très frais . .	. . . .	Ronds. . . .	13,4
Idem.	. . . .	Plats	14,5
Idem.	Entiers ou morceaux. .	Ronds. . . .	14,5
Idem.	Idem	Plats	16,5
N° 2 sec. . .	Germes	Ronds. . . .	13
Idem.	. . . .	Plats	18,5
N° 3	. . . .	Ronds. . . .	9,5
Idem.	. . . .	Plats	10
Idem.	Entiers ou morceaux. .	Ronds. . . .	12
Idem.	. . . .	Plats	12,5

Les deux résultats marqués (*) ont été obtenus avec les tubercules provenant du même sol et de la même culture que ceux sur lesquels M. Coudon a opéré.

On voit que les résultats sont sensiblement comparables.

On voit aussi que le terrain très fertile n° 3 a fourni une moins grande richesse que le n° 2 argilo-siliceux de même nature que celui où le *solanum Commersoni type* a, lui aussi, donné à M. Coudon une richesse de 23,2 contre 19,9 en terrain très fertile identique au n° 3 des cultures de *solanum Commersoni violet.*

Comme suite aux analyses de M. Coudon rapportées plus haut, il y a en cours actuellement des recherches complémentaires plus détaillées et des études sur la valeur alimentaire du *solanum Commersoni violet,* dont les résultats seront publiés ultérieurement.

On voit par les chiffres rapportés ci-dessus que la richesse en fécule du *solanum Commersoni violet* va en s'améliorant, ce qui est encore confirmé par la comparaison des résultats des recherches par densité de cette année avec les résultats de 1902 qui avaient fourni une évaluation de 11,5 seulement, et des recherches par déplacement d'eau qui, en 1903, avaient permis d'évaluer, deux mois après la récolte, la richesse des tubercules débarrassés de leur eau de végétation à 14,5 pour les lots à tout prendre et à 16 seulement pour les tubercules aplatis.

Cette amélioration du *solanum Commersoni violet* est encore plus importante en réalité, si l'on considère qu'en 1903 on opérait sur

une plantation de tubercules entiers ou en morceaux, tandis qu'en 1904 M. Coudon a opéré sur une récolte provenant d'une plantation de germes séparés, et on a vu par les résultats précédents que les plantations de tubercules entiers ou en gros morceaux ont donné des chiffres supérieurs en moyenne de 2 °/₀ à ceux fournis par les plantations de germes séparés.

Enfin la tendance très marquée du *solanum Commersoni violet* vers les formes plates est aussi une bonne indication : les formes plates, qui n'existaient pour ainsi dire pas en 1901, dépassaient 25 °/₀ en 1902, elles atteignaient environ 40 °/₀ en 1903 et elles représentent 60 °/₀ de la récolte de 1904.

Si on rapproche la richesse en fécule des rendements en poids de tubercules, on voit que la récolte à l'hectare atteindrait des chiffres très élevés :

Terrain très sec.	1 700	kilogr.
— sec.	3 400	—
— moyen.	8 500 à 10 000	—
— très frais, ...	10 500 à 13 000	—
— humide	10 500 à 15 000	—

au moins, ce qui dépasse les plus beaux rendements des pommes de terre européennes qui atteignent rarement plus de 12 000 kilogr. et restent ordinairement en très beaux rendements autour de 9 000 kilogr.

Une plantation en morceaux eût porté ces chiffres à des valeurs bien plus grandes, car les rendements de récoltes auraient été plus élevés (environ 40 °/₀) et la richesse en fécule eût été plus grande.

Fixité et variations. — Il reste un point important à examiner : c'est celui de la fixité de la variété violette du *solanum Commersoni*. La division œil par œil a permis d'obtenir le maximum de variations ; on en trouvera plus loin le détail.

Leur nombre a été très faible ; en voici la totalisation :

En 1903, un tubercule avait présenté des signes de modifications probables ; il fut sectionné et planté à part ; il a contribué à l'obtention de six pieds qui ont donné des tubercules de cinq aspects différents.

En outre, six pieds ont fourni, concurremment avec des tubercules violets, des tubercules de formes et de couleurs diverses.

Deux pieds ont donné des tubercules semblables.

Cinq pieds ont donné des colorations de tubercules et des formes diverses.

En résumé, en 1903, un seul tubercule a donné des signes justifiés de transformation; en 1904, sept pieds ont varié complètement et six partiellement.

Sur un total de sept mille cinq cents pieds environ qui ont échappé aux ravages des courtilières, le total des variations représente un peu plus de 1 °/₀₀; il y a peu d'exemples d'une meilleure fixité dans les cultures de pommes de terre plantées en morceaux ou entières.

Cette fixité est encore corroborée par le fait que la plantation a été faite à Verrières dans des terrains fort différents, et surtout par les résultats observés à Marseille, au jardin botanique, à Montlouis (ferme-école), chez M. de Larclause, à Verrières-le-Buisson, chez M. de Vilmorin, au Parc-aux-Princes, chez M. Grandeau, à la ferme de Noisy, dépendant de l'Institut agronomique, à la rue d'Alésia, à Paris.

Dans aucune de ces expériences, les tubercules n'ont varié de couleur ou de formes : les végétations se sont montrées (comme à Verrières) très analogues aux végétations des pommes de terre européennes, avec une plus grande exubérance dans les terrains humides.

Une seule exception fort curieuse s'est montrée à Marseille, au jardin botanique: les tiges sont revenues aux formes des tiges du type primitif[1]; il y a là un fait d'autant plus singulier que les semences premières qui ont fourni la variété violette provenaient directement du *solanum Commersoni type* cultivé et acclimaté depuis plusieurs années au jardin botanique de Marseille.

Origine. — Les causes de l'apparition de la variété violette du *solanum Commersoni* sont du domaine scientifique, et, sans vouloir

1. Lettre de M. Heckel.



chercher à trancher une aussi grave question, il est intéressant de signaler quelques faits observés :

M. Heckel a pu confirmer l'envoi exclusif de tubercules comme semences en 1901.

Les semences reçues avaient absolument l'aspect de tubercules.

Aucun fruit de *solanum Commersoni type* n'a levé depuis 1901 à Verrières, malgré un grand nombre d'essais.

Aucun essai d'hybridation par *solanum tuberosum* n'a réussi.

Aucun des fruits récoltés à Verrières n'a, au surplus, paru contenir de graines (1).

A la levée des semences reçues de M. Heckel en 1901, tous les pieds ont paru identiques avec une seule tige, ce qui fait écarter toute possibilité de semis de fruit, et c'est une caractéristique presque sans exception du *solanum Commersoni* de n'émettre qu'une seule tige à la levée.

La végétation était, au début, identique à celle des autres pieds du type.

Ce pied a fourni, dès son apparition, huit tubercules, dont deux arrachés à mi-juillet pesaient environ 150 grammes chacun ; il est peu probable qu'un semis de fruits aurait donné ces résultats.

En 1904 il a été noté les faits suivants :

Dans la plantation de tubercules aériens (terrain très sec), quatre pieds ont manifesté au début de la végétation une tendance à se rapprocher du type, puis ils ont pris le même aspect que les autres pieds voisins; deux de ces pieds ont fourni, concurremment avec des tubercules violets, chacun un tubercule semblable à la nouvelle variété violette du type 5-04, absolument identique pour un, très rapprochant pour l'autre.

Un pied a fourni une végétation aérienne identique à celle du *solanum tuberosum,* mais avec des tubercules identiques comme formes et coloration à ceux de 3-03 à son apparition, et de 8-04.

Ce pied a en outre fourni des fruits identiques comme forme,

---

1. La même absence de graines dans les fruits m'a été signalée par plusieurs correspondants disséminés un peu partout en Europe (Hollande, Autriche, Angleterre) et en France (Vosges, Seine, Gironde, Vienne, etc.).



mais plus gros que ceux récoltés sur 11-04 issu de 3-03 en 1904.

Tous les tubercules plantés (germes, morceaux ou entiers) n'ont fourni qu'une tige primaire à chaque pied, sauf une seule exception dans la plantation en morceaux du terrain très fertile n° 3.

Plusieurs pieds en terrain très sec ont émis des stolons; et les tubercules des variétés 14-04, 17-04, 21-04 et 22-04 se sont formés sur des stolons.

Les tiges de 3-03, enterrées après arrachage, commencent à former de petits tubercules blancs-rosés identiques à ceux de 1-01.

Plusieurs essais de stérilisation de tubercules, faits pour vérifier s'il y aurait un retour au type, sont restés sans résultats; cependant, des germes intérieurs de tubercules bien débarrassés de leur peau ont été mis en terre (godets): deux ont péri après germination, un a très bien végété mais n'a formé ni stolons ni tubercules, et un seul a formé des tubercules violets parfaits.

Le retour à la végétation du type à Marseille.

Goût, saveur et valeur alimentaire. — En 1901, les tubercules étaient un peu amers, malgré la saveur sucrée.

Cette amertume a complètement disparu depuis.

En 1904, le goût du tubercule du *solanum Commersoni violet* est parfait; il est sensiblement le même que celui de nos meilleures pommes de terre européennes, avec plus de finesse et un léger parfum que quelques personnes n'ont pas pu discerner et que d'autres ont très nettement trouvé.

Certains dégustateurs ont trouvé une ressemblance éloignée avec le parfum de la patate.

Les préparations culinaires sont très fines et très délicates, mais la supériorité du *solanum Commersoni violet* s'affirme sans conteste, avec une différence très marquée par rapport aux pommes de terre usuelles, par les faits suivants :

Les tubercules cuits et refroidis ne prennent pas le goût savonneux et désagréable des pommes de terre ordinaires;

Les parties verdies des tubercules souterrains ou aériens n'ont pas, crues, d'amertume appréciable et cuites elles n'en ont plus aucune;

différence qui laisse supposer une très faible dose de solanine : les recherches chimiques en cours permettront d'être fixé plus tard à ce sujet.

Les animaux donnent nettement la préférence aux tubercules de *solanum Commersoni violet* sur les espèces suivantes, qui leur ont été présentées en même temps : early rose, merveille d'Amérique, royale kidney, incomparable.

On voit, par cette énumération, que l'expérience a porté sur les meilleures variétés connues dans la région.

Conclusion. — Le *solanum Commersoni violet* présente donc un intérêt qui s'affirme de plus en plus, après quatre ans d'observations, et on peut espérer, sans être taxé d'exagération, que cette nouvelle plante sera pour les terrains frais et humides une source de richesse considérable.

VARIATIONS DU « SOLANUM COMMERSONI VIOLET »

Observées en 1904

12-04. — Variété jaune (fig. 12, n° 14).

La peau, jaune brillant, est lisse, sans lenticelles, et porte des taches roses. La tige, vert pâle, porte des fleurs blanches. La végétation est très abondante. Les fleurs ont produit deux fruits arrondis comme ceux du *solanum tuberosum*, mais avec une dépression et un sillon rappelant le fruit du type primitif. Les tubercules se forment à fleur et hors du sol ; ils sont très attaqués par les rongeurs ; ils sont ronds avec des articulations et ressemblent exactement à ce que fut 3-03 à son apparition, et à 8-04 apparu cette année sous le type. Les yeux très prononcés se recouvrent d'un bourrelet peu saillant en forme de ∧ très ouvert.

Paraît plus précoce que le *solanum Commersoni violet.*

13-04. — Variété jaune.

La peau, jaune, rugueuse, sans lenticelles, porte des yeux peu pro-



noncés recouverts par un bourrelet très saillant. Les tubercules formés au ras du sol ont apparu sur un pied, concurremment avec des tubercules violets.

14-04. — Variété rouge (fig. 12, n° 16).

Les tiges, vert pâle, portent des fleurs blanches; la vigueur était identique à celle des pieds du *solanum Commersoni violet;* aucun tubercule aérien n'a paru, bien qu'elle ait été trouvée dans le sol très frais.

Les tubercules, aplatis, affectent une forme carrée. Ils n'ont aucune articulation. La peau, rouge foncé, est presque rugueuse et porte quelques lenticelles. Les yeux, très enfoncés, sont surmontés d'un bourrelet très ouvert. Les tubercules se forment à fleur et hors du sol.

Cette variété a en outre montré des stolons longs et nombreux.

15-04. — Variété rose.

Cette variété a paru sous un des germes du tubercule de la récolte de 1903, mis à part à la plantation (4-03); il a donné naissance en outre à 25-04, 26-04 et 27-04. Cette variété rose s'est aussi trouvée sous un pied issu d'un germe de tubercule violet normal. La végétation des deux pieds a été identique. Les tiges, vert pâle, portent des fleurs blanches fructifères qui ont donné des fruits identiques à ceux de 12-04.

De maturité plus précoce que les autres pieds du *solanum Commersoni violet,* la végétation s'est mieux comportée en terrain très sec et sec. Les tubercules réguliers de formes s'applatissent ou s'allongent, ils se forment en butte autour de la tige et émergent du sol. La peau rose, très fine, sans lenticelles, a des yeux bien dessinés, recouverts par un bourrelet très allongé et peu saillant.

16-04. — Variété rose pâle (fig. 12, n° 15).

Comme la précédente, elle a paru sous un des germes du tubercule 4-03 et aussi sous un pied issu d'un germe du tubercule violet normal. Les tiges vert pâle portent des fleurs plus abondantes. La végétation est plus abondante, plus précoce et plus vigoureuse en terrain

très sec que celle du *solanum Commersoni violet*. Aucune fructification ne s'est montrée. La peau, de coloration rose pâle, est rugueuse; elle porte des traces violacées. Les tubercules, longs et applatis, ont des yeux très enfoncés et bourgeonnants, recouverts par un bourrelet très ouvert.

17-04. — ***Variété jaune et violet*** (fig. 12, n° 17).

Ce tubercule, mi-partie jaune et mi-partie violet, est apparu sur

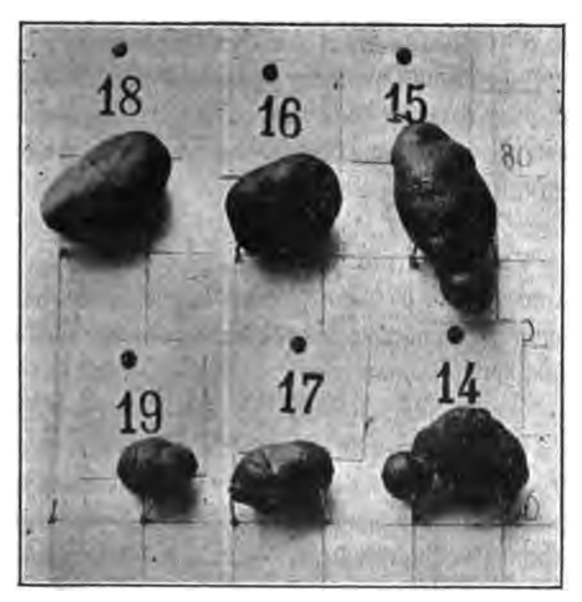


Fig. 12. — Variétés issues du *solanum Commersoni violet*.

N°s 14. Variété jaune 12-04 ;
15. — rose pâle 16-04 ;
16. — rouge 14-04 ;
N°s 17. Variété jaune et violet 17-04 ;
18. — rose rouge ;
19. — violet livide.

le même stolon qu'un tubercule jaune qui a pourri et sous le même pied que des tubercules violets. Les tiges et les feuilles étaient identiques au reste de la plantation.

18-04. — ***Variété blanche jaune.***

Deux tubercules ont paru sous un pied de *solanum Commersoni violet*, concurremment avec des tubercules violets ; aucune différence d'aspect de la végétation extérieure. La peau, d'un blanc jau-

nâtre, est lisse et brillante, avec des lenticelles rouges et des yeux rouges.

19-04. — Variété blanche jaune.

Deux tubercules ont paru sous deux pieds de *solanum Commersoni violet*, concurremment avec des tubercules violets. Ces tubercules, de forme ronde, ont une peau moitié lisse, moitié rugueuse, blanc jaunâtre, avec des traces violettes.

20-04. — Variété jaune.

Les tubercules, ronds avec des yeux violacés, ont paru sous un pied entier; ils se forment hors du sol; ils sont identiques à l'aspect de 3-03 à son apparition, sauf la couleur des yeux, et aussi, avec la même réserve, à 8-04 et à 12-04.

21-04. — Variété jaune.

Un tubercule jaune, de forme allongée avec taches violettes, est apparu, concurremment avec des tubercules violets, sous un pied de *solanum Commersoni violet*.

22-04. — Variété rose.

Les tubercules, de forme allongée, sont roses, avec des yeux rouges et des plaques rouges; la peau porte des lenticelles. Les tiges et les fleurs ne se sont pas différenciées du *solanum Commersoni violet*.

23-04. — Variété jaune.

Les tiges, vert pâle, n'ont pas montré de fleurs, la végétation a été plus vigoureuse et plus abondante en sol très sec que celle du *solanum Commersoni violet*. Les tubercules, allongés-plats, se sont formés dans le sol très près de la surface, mais sans en émerger. La peau, d'un beau jaune, porte quelques lenticelles; les yeux, bien dessinés, sont surmontés d'un bourrelet très ouvert, mais peu saillant.

24-04. — Variété violet-livide (grise).

Deux tubercules ont paru sous deux pieds issus de tubercules aériens en terrain très sec; ces deux pieds avaient manifesté au début

de la végétation une tendance à reprendre l'aspect du type primitif, puis la végétation s'est rétablie normalement, semblable à celle des pieds voisins.

Les tubercules sont violets, avec des teintes effacées sur fond jaunâtre, et l'un d'eux porte des lenticelles nombreuses, ce qui le rend identique à la variété violette parue cette année sous le type primitif et décrite sous le n° 5-04.

25-04. — Variété rose.

Ces tubercules, issus d'un germe du tubercule 4-03 séparé à la plantation, ont la peau rugueuse ; ils portent des lenticelles de coloration blanche, ils se teintent en rose et deviennent franchement roses vers les extrémités ; ils sont allongés. Les yeux, très prononcés, sont bourgéonnants. Les tiges, vert pâle, portent des fleurs blanches ; la végétation est plus vigoureuse et plus précoce en sol très sec que celle du *solanum Commersoni violet.*

26-04. — Variété rose rouge (fig. 12, n° 18).

Ces tubercules sont issus d'un autre germe du tubercule 4-03. Les tubercules, petits, affectent des formes variables ; la peau est d'un rose vif presque rouge ; les yeux, très prononcés. Les tiges, vert pâle, portent des fleurs blanches.

Plus vigoureux et plus précoce en terrain très sec que le *solanum Commersoni violet.*

27-04. — Variété rose-livide.

Ces tubercules sont issus d'un autre germe de 4-03 ; la peau, rose blafard, à reflets sales et traces violacées, est rugueuse. Les yeux, très enfoncés ; les tiges, vert pâle avec fleurs blanches, n'avaient qu'un développement faible en terrain très sec.

ANNEXES

ANNEXE I

SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE DE FRANCE

Séance du 9 mars 1904

M. Schribaux. — Le nouveau *solanum* que M. Labergerie présente à la Société mérite, à mon sens, d'être suivi avec attention, et par les agriculteurs, auxquels il semble appelé à rendre de précieux services, et par les biologistes, car il soulève un problème d'un très grand intérêt.

Des observations présentées par M. Labergerie, comme de l'examen des tubercules exposés, il ressort qu'il existe entre le nouveau *solanum* et le type original des différences très marquées: celui-ci serait nettement stolonifère, et les tubercules, profondément enfoncés, dispersés dans tous les sens, de sorte que, pour en faire la récolte, il faut remuer le champ sur toute son étendue ; le nouveau *solanum* possède, au contraire, des tubercules ramassés autour du pied-mère et parfois ils émergent en partie. Le premier possède des tubercules de grosseur moyenne, couverts de lenticelles, et d'une saveur amère ; les énormes tubercules du second dénotent une puissance productive beaucoup plus grande ; les tubercules sont lisses ou à peu près ; de plus, ils ont perdu leur saveur amère.

Est-il possible que, dans les limites d'une variété, des modifications aussi profondes puissent se produire brusquement d'une génération à l'autre ? Je soumets la question à notre savant confrère M. Bonnier.

Pour ma part, je ne connais pas d'exemple qui permette d'y répondre affirmativement. Qu'une plante double ou triple les dimensions de ses pièces florales, qu'elle change de forme ou de couleur, la nutrition générale n'en est pas affectée ; mais je ne comprends pas

qu'elle puisse subitement changer de composition, et, ce qui intéresse surtout l'agriculteur, qu'elle fabrique dans le même temps le double et même le triple de matière organique. Je serais tenté de voir dans le nouveau *solanum*, non pas le produit d'une variation spontanée, mais le résultat d'un croisement naturel entre le *solanum Commersoni* et le *solanum tuberosum*. M. Labergerie, auquel j'avais exprimé cette opinion, l'a communiquée à M. Heckel. L'éminent botaniste, qui a fourni les premiers tubercules de *solanum Commersoni,* déclare qu'un croisement n'a pu se produire dans ses cultures de Marseille.

Quoi qu'il en soit de cette hypothèse, elle vaut la peine, je crois, d'être vérifiée. Il y aurait d'ailleurs intérêt à croiser notre pomme de terre avec d'autres *solanum* sauvages tuberculeuses. Peut-être arriverait-on ainsi à créer de nouvelles races plus vigoureuses et productives.

M. Viger. — Je veux demander à M. Labergerie dans quel sol il a cultivé les tubercules dont il nous parle et, selon lui, quel est le sol qui convient le mieux à la culture du *solanum Commersoni.*

M. Labergerie. — Le sol fertile de l'essai à très grand rendement est très riche en humus, argilo-calcaire, très frais.

Le sol maigre est argilo-siliceux, avec grande dominante de silice.

Une partie très humide et constamment arrosée a produit 25 °/₀ de plus que la partie sèche.

M. Gaston Bonnier. — Je signale à mon tour l'importance des remarquables cultures de M. Labergerie. Il est très intéressant de constater, d'après les résultats donnés déjà par l'auteur, que plus les plants sont restés longtemps dans un sol favorable, plus ils ont perdu de leur amertume et acquis des qualités comestibles.

Dans l'Uruguay, la plante sauvage ne donne que des renflements insignifiants, très amers, situés sur les prolongements de longs rameaux souterrains, minces et effilés. Après culture prolongée, la même plante produit ces gros tubercules féculents de bon goût, groupés en quantité à la base des tiges aériennes, émergeant parfois au-dessus du sol ou se formant même sur les tiges, au-dessus de terre.

Il se passe là un fait sans doute très analogue à celui qu'a signalé Clusius lorsqu'il a introduit pour la première fois le *solanum tube-*

rosum en Europe. On sait que Clusius, en semant des graines de pommes de terre envoyées du Pérou, n'avait d'abord obtenu aucun tubercule. C'est seulement lorsqu'on lui eut envoyé des pommes de terre avec un peu du sol qui les entourait qu'il a vu se produire des tubercules, non seulement sur les pieds issus de ces pommes de terre, mais aussi, par une sorte de propagation dans le sol, sur les pieds issus de graine et qui n'en formaient pas auparavant.

L'influence de l'attaque des racines par des mycorhizes sur la formation des tubercules, comme l'a montré M. Noël Bernard, n'est sans doute pas étrangère à la formation des tubercules de *solanum Commersoni,* comme à celle des tubercules de *solanum tuberosum.* En faisant une expérience inverse, c'est-à-dire en plantant des tubercules stérilisés à la périphérie, dans un sol stérilisé, on reviendrait probablement, dans une certaine mesure, au type sauvage primitif. M. Schribaux pourrait utilement entreprendre ces expériences.

Séance du 30 novembre 1904.

M. Schribaux. — M. de Larclause, correspondant de la Société, directeur de la ferme-école de Montlouis, adresse une courte note relative à un essai de la variété violette du *solanum Commersoni* obtenue par M. Labergerie.

Six tubercules, conservés sans aucun soin, du mois d'octobre au mois de mai, n'ont subi aucune altération, bien qu'ils aient été soumis à une température de 3° au-dessous de zéro.

J'ai pu constater moi-même que les fanes du *solanum violet*, encore vertes au milieu d'octobre, ont mieux supporté les premières gelées que celles des pommes de terre tardives.

M. de Larclause a planté le nouveau *solanum* au milieu d'un champ de pommes de terre très bien fumé et parfaitement préparé. Quoique les plantes au cours de la végétation aient été sulfatées, à la récolte on trouva quelques pommes de terre malades ; sur 60 tubercules de *solanum violet*, un seul était gâté.

Mais, si le *solanum violet* résiste mieux au froid et à la maladie que notre pomme de terre ordinaire, par contre il paraît moins bien s'accommoder de la sécheresse. A Montlouis, où l'été fut extrême-

ment sec, le *solanum* a livré en moyenne par pied 730 grammes de tubercules, les pommes de terre de diverses sortes 750 grammes environ. La différence est très faible, sans doute; néanmoins, de l'avis de M. de Larclause, autant qu'il put en juger avec un nombre de tubercules aussi faible que celui qui a été cultivé, le *solanum violet* aurait moins produit à l'hectare que la pomme de terre.

Il faut noter que la plantation a eu lieu seulement le 8 mai; si j'ajoute que le *solanum violet* est une plante tardive, on comprendra sans peine que les conditions climatériques de l'été devaient lui être particulièrement défavorables.

Pour donner la mesure de sa valeur, il demande des terres où l'humidité ne fasse pas défaut. Une expérience sur quelques pieds seulement, poursuivie à la station d'essai de semences, m'a fourni des résultats analogues à ceux que relate M. de Larclause. Nous ne devons pas en être surpris. Lorsque M. Heckel a présenté le *solanum Commersoni* duquel est sortie la variété violette de M. Labergerie, il n'a pas manqué de faire remarquer que l'intérêt de la nouvelle plante résidait principalement dans sa résistance à l'humidité; qu'en définitive, il s'agissait d'une plante des terrains bas et marécageux.

Je m'en tiens à ces indications sommaires, ne voulant pas empiéter sur la communication que M. Labergerie, si je suis bien informé, doit faire à la Société.

Séance du 7 décembre 1904

M. Ed. André. — La très intéressante communication que M. Labergerie vient de faire à la Société soulève une question qui s'y rattache étroitement : celle de l'origine et de la patrie de la pomme de terre.

On sait que la plupart des botanistes sont d'accord pour conclure à un type primordial de nos pommes de terre cultivées, qui serait le *solanum tuberosum* de Linné.

D'autres, en minorité, sont d'avis qu'il est peu probable que nos nombreuses variétés en culture soient issues d'une souche unique et ils pensent au contraire qu'elles seraient le produit de variations directes ou de croisements entre espèces diverses.

Je suis de ces derniers. Voici sur quoi je fonde mon opinion.

Lorsque, en 1875 et 1876, je parcourais les Andes de l'Équateur, de la Colombie et du Pérou, dans un voyage d'exploration scientifique, j'ai trouvé, en trois localités différentes, loin de toute culture humaine, ce que j'ai cru être le *solanum tuberosum*.

La première fois, c'était dans la Cordillère centrale du Quindio (Colombie), à une altitude de 3 500 mètres, par conséquent en terre froide. La plante présentait des tiges grêles, courant sur le sol ou peu enfoncées dans le terreau de la forêt, portait des fleurs blanches et petites, des fruits en baies oblongues et un peu pointues, et des tubercules allongés, d'un gris jaunâtre, à saveur à la fois féculente et un peu amère.

La deuxième fois, c'était dans le Cauca, également en Colombie, mais à l'altitude beaucoup inférieure de 1 850 mètres. De grandes fleurs violettes lui donnaient un aspect décoratif. M. Baker a considéré cette plante comme une espèce nouvelle qu'il m'a dédiée (*solanum Andreanum,* Baker).

La troisième fois, c'était près de Lima, au Pérou, sur la montagne des Amancaès, entre des roches très peu garnies de terre.

J'avais également remarqué que les Indiens cultivaient la pomme de terre depuis un temps immémorial dans les Cordillères, et je savais que les premiers *conquistadores,* aussi bien les compagnons de Pizarre au Pérou que ceux de Federmann, de Belalcazar, de Quesada dans la Nouvelle Grenade, avaient trouvé partout les *papas* cultivées en variétés nombreuses.

Mes documents furent remis à M. Adolphe de Candolle, le savant botaniste genevois, sur sa demande, au moment où il élaborait son beau livre sur l'*Origine des plantes cultivées*. De l'examen attentif de mes échantillons d'herbier, il conclut que les trois exemplaires de *solanum* tubéreux que j'avais récoltés à l'état sauvage étaient différents du type connu au Chili sous le nom de *solanum tuberosum*, que l'on considérait comme la souche authentique et unique de toutes les pommes de terre cultivées.

A son tour, M. Ernest Roze, dans son livre sur l'histoire de la pomme de terre, en relatant ces faits au milieu de bien d'autres, n'arriva pas à établir d'une façon solide l'unité de type des variétés du précieux tubercule.

Je repris alors la question que j'avais déjà esquissée en 1877 dans l'*Illustration horticole* (p. 114) et, dans deux articles de la *Revue horticole* de 1900 (pp. 320 et 542) je cherchai à établir la pluralité des types qui avaient servi à l'obtention des variétés de pommes de terre aujourd'hui répandues dans le monde sur un nombre considérable de degrés de latitude (plus de 60°) et à des altitudes qui varient entre 0 et 3 500 mètres et plus. Je citai, parmi les espèces tubérifères, les *solanums immite, columbianum, Valenzuelæ, Commersoni, verrucosum, stoloniferum, Maglia,* etc., comme types à racines (ou mieux tiges souterraines) gonflées et féculentes, qui pourraient donner des produits analogues à ceux de nos pommes de terre, dans des conditions de culture et de perfectionnement à déterminer. Des introductions de nouveaux types et des cultures soignées sont nécessaires à cet effet.

Déjà j'avais pu voir, dans l'Uruguay, en 1890, le *solanum Commersoni,* plante indigène se multipliant dans ce pays sans beaucoup se modifier. Il en était de même du *solanum Ohrondii,* signalé par Carrière dans la *Revue horticole,* qu'il soit considéré comme espèce distincte ou comme une forme ou un synonyme du *solanum Commersoni.*

Mais des expériences suivies depuis sept années par M. Heckel à Marseille, et qui ont fait l'objet, de sa part, de communications très intéressantes, de même que les curieux résultats dont M. Labergerie nous a entretenus, viennent de jeter un jour nouveau sur cette question d'origine. Ces faits appuient singulièrement mon hypothèse.

M. Heckel va même beaucoup plus loin que moi dans ses conclusions. Il croit que le *solanum Commersoni* ayant varié dans le même sens que les formes du *solanum tuberosum,* la première de ces deux espèces a certainement joué un rôle important dans la formation de nos pommes de terre actuellement cultivées. Je ne sais sur quoi il peut se fonder pour appuyer cette manière de voir. Peut-être sur des faits autres que ceux apportés par M. Labergerie? Dans l'Uruguay, on ne semble pas jusqu'à présent avoir fait d'observations du même ordre.

Mais ces nouveaux faits fortifient mes déclarations précédentes.

Je conclurais volontiers, par analogie, à l'extension aux autres espèces citées de cette plasticité dans les types originels qui aurait permis aux autres *solanums* tubérifères d'entrer, depuis de longues périodes de temps, dans la formation des pommes de terre cultivées d'abord en Amérique, puis, de là, transportées, croisées et variées à l'infini dans le monde entier.

M. Schribaux. — L'année dernière, à pareille époque, M. Labergerie faisait à la Société une première communication qui m'a beaucoup frappé, aussi ai-je accepté, avec empressement, son aimable invitation d'assister, il y a quelques semaines seulement, à la récolte du nouveau *solanum violet*.

Au milieu d'un grand carré, dans une terre moyennement fraîche, d'apparence assez peu fertile, M. Labergerie fit, à ma demande, délimiter un rectangle de 2 mètres de largeur sur 7^{m},50 de long, correspondant à quatre rangs de *solanum violet* plantés à 0^{m},50 en tous sens. Sur les soixante pieds qui existaient à l'origine de l'expérience, nous n'en avons plus compté que quarante-un, le reste avait été totalement détruit par les courtilières. Ensemble, ces quarante-un pieds ont fourni 45^{kg},500 de tubercules souterrains auxquels il faut ajouter 5 kilogr. de tubercules aériens récoltés sur quinze pieds, soit l'équivalent de 33600 kilogr. à l'hectare. Le pied le plus fourni pesait 2^{kg},700. Si la plantation avait été complète, le rendement aurait atteint 50000 kilogr. environ à l'hectare dosant de 14, 6 à 16,3 °/₀ de fécule.

Il est évident qu'en grande culture, le *solanum*, moins soigné que dans le carré d'expérience, aurait fourni des rendements plus faibles. Même en faisant la part des soins dont il a été l'objet, des erreurs d'évaluation résultant et de la faible surface récoltée et de la correction imposée par les ravages des courtilières, le *solanum Labergerie*, en 1904, aussi bien qu'en 1903, se révèle comme une nouveauté fort intéressante. Au milieu d'octobre, le *solanum violet* était encore en pleine végétation. Il n'est pas douteux qu'en plantant des tubercules germés afin de gagner ainsi quelques semaines, on arriverait à augmenter notablement la récolte. Dans une région à climat doux où le *solanum violet* pourrait étendre sa période végétative et mûrir complètement, il devrait fournir des récoltes extrêmement élevées : l'expé-

rience mériterait d'être tentée en Bretagne et dans le midi de la France, en terre à la fois fraîche et fertile.

Quoique récoltés avant complète maturité, les tubercules m'ont paru de très bonne conservation ; la richesse en fécule semble seule affectée de cette récolte prématurée.

M. Labergerie vous a présenté des tubercules aériens bien différents d'aspect. Ensemble, nous en avons pesé qui atteignaient près de 400 grammes ; l'échantillon, dont la photographie se trouve sous nos yeux, est encore plus remarquable, puisqu'il pèse près d'un kilogramme.

La tendance à la tubérisation des tiges, si elle atteste la vigueur de la plante, ne présente cependant qu'un intérêt de curiosité ; par contre, il est d'autres caractères qui méritent toute l'attention des praticiens.

Généralement, chaque pied ne produit qu'un petit nombre de tubercules, mais des tubercules très volumineux, ramassés tout autour de la tige et à fleur de terre ; bon nombre même émergent partiellement du sol. Pour toutes ces raisons, ces tubercules sont extrêmement faciles à arracher.

J'ajoute que la végétation aérienne, que les fanes sont issues d'une tige unique. Comme le type primitif, le *solanum Labergerie* est franchement monophyte. Voilà encore une circonstance avantageuse. A l'arrachage, pas de difficultés pour se débarrasser des fanes. On est à la recherche en ce moment d'appareils mécaniques pour la récolte de la pomme de terre ; je ne sache pas qu'ils aient donné des résultats satisfaisants jusqu'à présent ; avec le *solanum Labergerie*, — j'appelle l'attention de mon ami Ringelmann sur ce point, — le problème me paraît relativement facile à résoudre.

Les tubercules émergent en partie du sol, avons-nous dit ; or, chacun sait que les pommes de terre exposées à la lumière, les pommes de terre verdies, en un mot, ne sont pas comestibles ; on prétend même qu'elles peuvent devenir toxiques en raison de la solanine qu'elles contiennent. Avec le *solanum violet*, je n'ai pas constaté de différence sensible, — et plusieurs de nos confrères ont été de cet avis — entre le goût des parties enterrées et des parties éclairées d'un même tubercule.

M. Labergerie, auquel rien n'a échappé des transformations subies par le *solanum violet*, possède dès à présent assez de variations pour lui permettre d'aborder avec succès la création de variétés améliorées irréprochables de forme, riches en fécule et suffisamment précoces.

A côté des variations utiles, il en est de bien curieuses. J'en retiendrai une seulement. Sur un même rhizome de $0^m,25$ environ, j'ai pu voir un tubercule jaune, c'était le plus voisin du pied-mère, deux tubercules entièrement violets ; le quatrième, qui terminait le rhizome, était à la fois jaune et violet.

Cette disjonction de caractères antagonistes me semble plaider en faveur de l'opinion que j'ai exprimée l'année dernière, à savoir que le *salanum* Labergerie est non pas le produit d'une variation brusque, mais plus vraisemblablement le produit d'un croisement entre le *solanum Commersoni type* et un *solanum* domestique.

Jusqu'à présent, le *solanum violet* n'a pu mûrir ses fruits ; d'autre part, les essais de croisement tentés de différents côtés ont totalement échoué, de sorte que les éléments font défaut pour juger de la valeur de cette hypothèse.

Je renouvelle l'espoir que ces essais de croisement soient repris avec méthode ; sans parler de leur intérêt théorique, ils pourraient très bien doter l'agriculture de pommes de terre nouvelles supérieures à celles que nous possédons déjà.

ANNEXE II

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 21 novembre 1904

Botanique agricole. — Le *solanum Commersoni Dunal* et ses variations dans leurs rapports avec l'origine de la pomme de terre cultivée. Note de M. Édouard Heckel, présentée par M. Gaston Bonnier.

J'ai cultivé et observé sept formes de *solanum* tubérifères sur les vingt-quatre connues et dont certains botanistes font des espèces irréductibles, tandis que d'autres (Baker) les groupent à titre de

simples variétés autour d'un *type solanum tuberosum*. Une seule forme a survécu après huit années de culture, c'est le *solanum Commersoni Dunal*, qui a présenté des phénomènes de variation et de productivité de nature à fixer sur elle tout à la fois l'attention des agriculteurs et des botanistes, en dehors du jour que ces faits me paraissent jeter sur l'origine si discutée des variétés cultivées sous le nom de *solanum tuberosum* L.

Il me suffira, pour justifier cette proposition, de dire que, dans l'espace de deux années, l'espèce *solanum Commersoni*, qui n'avait pas varié au jardin botanique de Marseille, s'est tout à coup, en changeant de climat et de milieu (sol humide), transformée, à ce point que tout botaniste non au courant des modifications successives survenues dans cette plante depuis l'état sauvage jusqu'à l'état actuel attribuerait certainement la dernière variété obtenue au *solanum tuberosum*, aucune différence n'existant plus entre ces variétés de *solanum Commersoni* et certaines de celles de la pomme de terre ordinaire.

C'est cette longue expérimentation et ces résultats qui manquaient aux botanistes dont les prévisions mettaient en cause, sans affirmation possible, la morelle sauvage de Commerson comme origine probable de la pomme de terre de Virginie, qui fut la première introduite en Angleterre.

Aujourd'hui, la chaîne est reconstituée sous nos yeux entre le *solanum Commersoni type*, tel que je l'ai décrit en détail dans mon mémoire, et ses variétés, qui se confondent avec celles de la pomme de terre cultivée depuis quatre siècles. Voici du reste les faits.

En 1896 je recevais au jardin botanique cinq petits tubercules inconnus gros comme des noisettes, très amers, provenant de l'Uruguay (bords de la rivière Mercédès), d'où sortirent autant de pieds de *solanum Commersoni*. Cultivés pendant sept ans en terre argileuse, sèche souvent, mais non constamment arrosée, j'obtins, par sélection des tubercules, le type demeurant invariable, un développement progressif de ces tubercules qui passèrent progressivement du poids de trois grammes à celui de 150 grammes maximum, tout en demeurant couverts de lenticelles attachées à l'extrémité de longs stolons et à pulpe verdâtre, cireuse, compacte et amère. Dès 1901,

je les mis largement en distribution, avec l'espoir de voir varier la plante sous l'influence de nouvelles conditions de milieu et surtout du retour aux terres constamment humides (condition initiale). En 1902 et 1903, M. J. Labergerie, agriculteur très éclairé et très sagace du département de la Vienne (Verrières), me faisait connaître que, sur le petit nombre de pieds issus de mon envoi de tubercules, il avait obtenu trois variations : une à tubercules violets, une autre à tubercules roses et une enfin à tubercules blanc jaunâtre. Cela, en terres humides récemment défrichées.

En outre, la plante issue de ces tubercules avait changé d'aspect dans ses parties tant souterraines qu'aériennes. Les innombrables stolons (terminés par un tubercule) qui caractérisent le type s'étaient raccourcis, les formations tubérifères s'étant ramassées au pied de la tige. De plus les tubercules avaient perdu complètement leur amertume, leur peau s'était dépouillée des lenticelles et la teneur en fécule s'était élevée à 17 et même 20 °/₀, leur poids et leur volume s'étaient accrus ; enfin les fruits, très abondants dans le type, commençaient à ne plus se former. Encouragé par ces résultats importants au point de vue agricole, M. Labergerie multipliait par tubercules, à l'aide de cette première récolte, ses trois variétés et plus particulièrement la violette. En mars 1904, il pouvait en montrer les produits et faire sur ce sujet à la Société nationale d'agriculture une communication importante. Cette année, je me suis rendu, en septembre, à Verrières, où dix mille cinq cents pieds de la variété violette étaient en végétation prospère, malgré la sécheresse estivale, et cette variété, comme les autres, s'était admirablement maintenue. La violette a même présenté de nouveaux caractères : les tiges sont plus fortes (4^{kg},500 pour certains pieds) et plus longues (jusqu'à 4 mètres) ; les fleurs ont pris la forme et la couleur de celles de la pomme de terre ordinaire ; les fruits, plus rares, mais plus gros, sont teintés de violet et ont passé progressivement de l'état cordiforme à l'état sphérique propre au *solanum tuberosum* et à ses variétés : les feuilles, plus larges, d'un vert plus foncé, sont devenues plus velues ; à leur aisselle ont apparu des tubercules violets allant de la grosseur d'un œuf de pigeon à celle d'un ovoïde du poids de 600 grammes. Quant aux tubercules, ils se sont maintenus comme

forme et ont été d'autant plus nombreux à chaque pied que ceux-ci, toutes conditions égales, végétaient dans un terrain plus humide.

Il serait impossible en cet état de reconnaître dans la variété de Labergerie l'espèce-type dont elle est sortie et d'établir aucune différence entre elle et certaines variétés de *solanum tuberosum,* telles que north star, par exemple, que j'ai cultivée à Marseille et early rose, que M. Labergerie cultive à Verrières. Si bien qu'on est amené par ces faits à admettre que le *solanum Commersoni* a joué un rôle important dans la formation de nos variétés actuelles de la pomme de terre ordinaire. La seule différence — mais elle est capitale — réside dans ce fait que la production est plus accusée dans les variétés de *solanum Commersoni* en terres humides ; mais cette condition se maintiendra-t-elle ?

Conclusions

1° Le *solanum Commersoni* ayant varié dans le même sens que l'ensemble de nos *solanum tuberosum* actuels, cette espèce a certainement joué un rôle important dans la formation de nos pommes de terre ordinaires ;

2° Le parallélisme frappant qui existe entre les mêmes séries de variations semble dénoncer entre les deux espèces originelles une connexion étroite qui donne grand appui à la manière de voir de Baker ;

3° Les variations subites et durables, survenues sous l'influence du changement des conditions ambiantes et surtout du retour de l'espèce de Commerson à son milieu humide initial, montrent à quel point la plasticité de certaines espèces est considérable et combien les phénomènes de mutations signalées par de Vries peuvent être profonds, puisqu'ils font perdre, en deux générations, tous les caractères propres à l'espèce ;

4° La variation violette de *solanum Commersoni* paraît actuellement, à raison de sa grosse productivité (63 000 kilogr. à l'hectare) et de sa prédilection pour les terres humides, promettre une application heureuse à la mise en valeur culturale des terres marécageuses jusqu'ici à peu près improductives.

ANNEXE III

Observations sur le « solanum Commersoni violet », à Verrières-le-Buisson [1], dans les cultures de M. de Vilmorin, en 1904.

Juin. — Bien distincte des autres variétés de *solanum Commersoni;* tiges légèrement teintées de violet, assez fortes, dressées, ressemble plutôt au *solanum tuberosum;* ne semble pas tracer.

Août. — Fleurit ; fleurs bien violettes, très peu odorantes.

Septembre. — La végétation continue, vigoureuse, pas de bulbilles aériennes.

4 octobre. — Arrachage.

Premier lot : vingt-trois touffes donnent de cinq à sept tubercules (sauf trois touffes à un seul tubercule) gros ou très gros, longs, violets-rougeâtres, yeux peu enfoncés, violet noir, ne présentant pas de traces de lenticelles ; le plus long a 20 centimètres ; chair blanc jaunâtre, l'aspect général est plutôt celui d'un *solanum tuberosum* que celui d'un *solanum Commersoni.*

Deuxième lot : dix touffes ; tubercules plus nombreux (cinq à dix par pied) mais moins gros, même remarque que ci-dessus.

Récolte totale : trente-trois touffes ont donné cent quatre-vingt trois tubercules pesant 29 kilogr.

Poids moyen des tubercules : 158 grammes.

Poids du plus gros : 715 grammes ;

Nombre moyen de tubercules par pied : 5,5 ;

Nombre moyen de tubercules au kilogramme : 6.

Produit par pied : 0^{kg},878.

Fécule : 8,2.

---

1. Les observations qu'a bien voulu me communiquer M. Ph. de Vilmorin sont d'un intérêt considérable car elles sont très exactement comparables aux observations faites dans des sols très différents comme composition mais très secs comme ceux de Verrières-le-Buisson. Les touffes obtenues par M. de Vilmorin sont le résultat d'une multiplication intensive par boutures et divisions à l'infini des plants, la richesse en fécule s'est trouvée diminuée, mais la vigueur des plantes n'a pas fléchi. L.

ANNEXE IV

Observations faites sur le « solanum Commersoni violet », en 1904, à la station de pathologie végétale, 11 *bis*, rue d'Alésia, à Paris, par M. le D[r] Georges Delacroix, directeur de la station.

Cinq tubercules de 30 à 35 grammes en moyenne ont fourni d'une façon très approximative 990 grammes de tubercules, qui sont encore sains, d'une façon absolue, le 15 janvier 1905. Plus un poids notablement plus élevé de tubercules qui ont pourri sous l'influence de diverses moisissures : *Fusarium oxyisporium, Fusarium solani verticillum, candidulum,* etc. (1).

Le sol de la rue d'Alésia est excessivement chaud et sec, une certaine partie est exposée de telle façon qu'il fait une température pour ainsi dire subtropicale pendant trois mois ; j'ai pu y obtenir le doura (*sorghum doura*) le faire fructifier et reproduire.

Le terrain est très copieusement arrosé, d'autant plus qu'il fait plus chaud, le sol arable est très peu profond.

1. Les constatations de M. Delacroix tendent à confirmer la moins bonne conservation du *solanum Commersoni violet* récolté en sol très sec que récolté en sol humide (cette remarque a été signalée plus haut), il faut noter cependant que l'observation a besoin d'être confirmée plus complètement, car les cultures de la rue d'Alésia peuvent fort bien être contaminées par le voisinage immédiat du laboratoire où tous les champignons nuisibles sont cultivés et observés. L.



L'HYLOBE ET L'HYLÉSINE DU PIN

DANS LA HAUTE-MARNE

Par E. HENRY

Le département de la Haute-Marne, d'une superficie totale de 625 000 hectares, contient 187 000 hectares de forêts, ce qui correspond à un taux de boisement de 30 °/₀, quand le taux moyen de la France n'est que de 17 °/₀. Il comprend 550 communes, dont 406 sont propriétaires de 10 145 hectares de terrains communaux en friche ainsi répartis :

						HECTARES en friches
Arrondissement	de Chaumont,	195	communes, dont	151	possèdent	3 742
—	de Langres. .	210	—	166	—	4 363
—	de Wassy . .	145	—	89	—	2 040

Ces terrains sont généralement situés sur de hauts coteaux dont l'altitude ne dépasse pas 500 mètres en sol calcaire superficiel, sec, filtrant (médio- et suprajurassique), éloignés des agglomérations, affectés au pâturage des moutons, dont l'importance diminue de jour en jour. Ces pâturages, très médiocres, pourraient être améliorés en beaucoup d'endroits par l'emploi de scories de déphosphoration, par des semis de graines fourragères de bonnes espèces, à la suite de hersages superficiels, et surtout par un aménagement du parcours qui permette à ces améliorations de donner tout leur effet utile.

Même en admettant que ces améliorations pussent être réalisées, le maintien de ces friches à l'état de pâture serait loin de procurer aux communes un revenu égal à celui qu'elles peuvent retirer du reboisement de ces grandes surfaces presque improductives.

A cet égard, rien n'est plus instructif et encourageant que les résultats obtenus par la ville de Chaumont.

De 1835 à 1860, la municipalité a fait exécuter, avec plein succès, sur des terrains en friche, disséminés en une vingtaine de parcelles, à sol calcaire, aride, superficiel, des plantations où les essences dominantes sont, suivant les contrées, le pin sylvestre ou le pin noir, avec des mélèzes ou des épicéas en mélange. Ces terrains reboisés forment, dans l'ensemble de la forêt communale, une série spéciale d'une contenance de 186 hectares qui a été soumise au régime forestier en 1877. A partir de cette date, on pratique régulièrement, aux endroits les plus denses, des exploitations qui donnent le chauffage annuel des établissements municipaux, évalué à 280 stères. En 1887, commencent les exploitations normales à rendement pécuniaire.

De 1887 à 1900, des coupes d'éclaircie parcourent toute la série et produisent une somme de. . . . . 46 975 fr.

De 1901 à 1903, on coupe à blanc étoc 88 hectares; on éclaircit 63 hectares; ces opérations produisent 117 210

Total. . . . . . 164 185 fr.

Il reste encore à exploiter 98 hectares à blanc étoc et à pratiquer quelques éclaircies avant l'abatage général. Les produits à réaliser progressivement, dans un avenir de vingt à vingt-cinq ans, seront de bien peu inférieurs à ceux déjà réalisés et l'on peut, sans exagération, évaluer à 300 000 fr. la somme totale que ces plantations de résineux pourront procurer à la ville de Chaumont.

En même temps, le sol se trouve considérablement amélioré par les abondants détritus de la végétation ligneuse. Dans les parcelles voisines des forêts feuillues, un repeuplement complet de chêne, charme, bouleau, hêtre, tremble, érable, s'est formé par transport naturel des semences, et a pris, à perpétuité, possession du terrain. Dans les autres parcelles éloignées, la régénération artificielle en pins sylvestres viendra parer à la pénurie des semis naturels de rési-

neux. La faveur dont jouissent actuellement les bois de mines [1] a donné à ces résineux, surtout aux pins sylvestres et aux mélèzes, une grande valeur commerciale, sans qu'ils aient encore atteint de fortes dimensions en grosseur [2] ».

Voilà certes une opération des plus avantageuses pour la ville de Chaumont qui, *moyennant une dépense de 83 fr. par hectare, vend sur cet hectare, au bout de quarante à cinquante ans, pour 1 800 à 2 000 fr. de bois.*

---

1. « Lorsque le charbon a été exploité sur une grande échelle et qu'on a pu le faire parvenir, grâce au développement des voies de communication, jusque dans les plus petits villages, on s'est écrié que le bois allait être détrôné et qu'il perdrait sa valeur.

« Chose curieuse ! Alors que le charbon a remplacé le bois comme chauffage, il exige lui-même de plus en plus du bois pour être extrait, à tel point que l'usage de cette matière dans les mines est devenu une question de premier ordre, jouant un très grand rôle dans le calcul du prix de revient. Que de charbonnages achètent du bois pour 200 000, 300 000 et même 400 000 fr. chaque année !

« La quantité de bois nécessaire pour l'extraction du charbon oscille entre 0 fr. 90 et 1 fr. 30 par tonne, soit donc environ 1 fr. 10 en moyenne. En 1902, on a extrait, en Belgique, 23 millions de tonnes de charbon, La consommation annuelle en bois de mines (pour les charbonnages) est donc actuellement d'environ *23 millions de francs* pour le royaume. En estimant à 23 fr. le prix moyen du mètre cube, le nombre de mètres cubes nécessaire à l'exploitation annuelle des charbonnages belges est de 1 *million de mètres cubes*. Or, il n'est pas trop hardi d'affirmer que cette quantité ira en s'accentuant par suite de l'extension continuelle et de l'approfondissement des fosses et, ensuite, par l'augmentation des dimensions données aux étançons dans le but de diminuer les accidents. »

Nous citerons d'autant plus volontiers ces lignes extraites d'une conférence donnée aux Associations charbonnières de Charleroi et de Liège, par M. Crahay, inspecteur des eaux et forêts de l'État belge, que les marchands de bois de la Belgique et du nord de la France viennent de plus en plus s'approvisionner en bois de mines dans le nord-est, et c'est à leur concurrence que l'on doit l'élévation constante des prix. A la dernière adjudication des coupes de pins de la ville de Chaumont, des coupes estimées 36 000 fr. ont été vendues 56 000 fr. Il est très probable, comme le dit M. Crahay, que les prix de ces bois, de plus en plus demandés, se maintiendront, et cette circonstance doit encore exciter les propriétaires de terrains en friche à les transformer en bois. Il n'y a rien de mieux à faire.

2. Tous ces renseignements sont extraits d'un rapport récemment adressé à l'administration par M. Toussaint, conservateur des eaux et forêts, à Chaumont. Je le remercie vivement d'avoir eu l'obligeance de me le communiquer et de m'autoriser à y puiser ces données précises qui doivent exciter les particuliers et les communes propriétaires de friches à suivre l'exemple donné par la ville de Chaumont. C'est, du reste, ce qu'ont déjà fait beaucoup d'autres communes du département, encouragées dans cette voie par les subventions de l'État. On lit, en effet, dans ce rapport si instructif, qu'actuel-

Ce serait vraiment trop beau, s'il ne survenait, de temps en temps, au cours de ces transformations si fructueuses, mais à longue échéance, quelques accrocs dans la succession normale des phases de la végétation, quelques déboires dus aux intempéries ou encore aux attaques des champignons ou des insectes, attaques auxquelles les pins sylvestres sont, on le sait, plus exposés que toutes les autres essences.

Actuellement, à Chaumont, il s'en présente un, pas bien sérieux toutefois et auquel on pourra remédier aisément.

Dans l'hiver 1901-1902, on a fait une coupe à blanc étoc dans des pins de quarante-cinq à cinquante ans et, comme les feuillus ne s'y étaient pas jetés suffisamment, on replanta, à l'automne de 1902, sur ce sol très fortement enherbé, des pins sylvestres de trois ans. Déjà, dans l'été de 1903, les gardes constatèrent que bon nombre dépérissaient. On recommença de planter à l'automne de 1903 pour remplacer les plants morts et achever de garnir la coupe ; mais, dès le mois d'avril 1904, les dégâts des insectes s'accusèrent.

M. l'inspecteur Jacquot envoya quelques-uns de ces insectes à l'École forestière. Ils appartenaient tous à l'espèce bien connue des forestiers sous le nom d'hylobe du pin (*Hylobius abietis*, L.), charançon de 13 millimètres de longueur, brun, avec de petites touffes de poils jaunes sur les élytres, représenté (*fig. 1*). On le distingue aisément d'un autre ennemi des jeunes pins, le pissode (*Pissodes notatus*, L.), par sa taille, qui est double, et par l'insertion des antennes. Celles-ci chez l'hylobe partent de l'extrémité du rostre, tandis que dans le genre pissode elles sont insérées au milieu du rostre (v. fig. 1 à droite).

Mœurs de l'hylobe. — Rappelons brièvement les mœurs de cet insecte, et reconnaissons tout d'abord que, malgré la fréquence de

lement vingt-deux communes ont fait des reboisements facultatifs. L'étendue des terrains communaux, ainsi reboisés en résineux et en feuillus, au 31 décembre 1903, est de 374 hectares. Les frais se sont élevés à 31 161 fr. dont 11 293 fr. fournis par l'État, 1 292 fr. par le département et 18 576 fr. par les communes. La dépense moyenne par hectare ressort à 83 fr. En présence de la hausse constante des bois et notamment des bois de mines, il est à espérer que les communes et les particuliers, attirés par les grands bénéfices de l'opération, mettront de plus en plus d'ardeur à reboiser les terrains délaissés par l'agriculture.

ses invasions, on n'est pas d'accord sur la durée de son cycle biologique et cela, sans doute, parce que cette durée varie suivant les circonstances.

La larve de l'hylobe (*fig. 2*) vit dans les racines du pin sylvestre ou de l'épicéa. Suivant que celles-ci courent à la surface ou s'enfoncent profondément, selon qu'elles se trouvent en des sols ou des stations plus ou moins chauds, les larves, dit Altum (1), sont soumises à des différences de température non négligeables, qui se traduisent par un développement plus ou moins rapide, dont les stades ne sont plus nettement séparés, comme pour les chenilles qui, vivant en plein air, subissent toutes ensemble et au même degré les influences atmosphériques.

Ainsi, pour l'hylobe, on trouve, en hiver, des larves, des pupes (*fig. 3*) et des insectes parfaits, ce qui ne se présente jamais chez le lasiocampe du pin, par exemple. Pourtant, parmi ces divers états de développement, il en est un auquel se trouve la grande majorité des insectes ; c'est ce que l'on peut appeler l'état *normal*. On s'explique ainsi que l'on ait donné comme règle pour le développement de l'hylobe, tantôt une génération par an, tantôt une et demie, tantôt deux. Altum, en se fondant sur les nombreuses invasions qu'il a observées en Allemagne, se déclare pour le cycle de deux ans. Mais il peut très bien se faire que cette durée soit abrégée dans des climats plus doux, comme il arrive pour le hanneton.

Dès les premières chaleurs du printemps, déjà en avril, l'insecte se montre en quantité. A Chaumont, en 1904, dès le 15 avril, on le voyait en nombre. Il vole alors — c'est le seul moment où il se serve de ses ailes — même loin des lieux où il est né, en quête d'endroits propices à la ponte. Nul doute que l'accouplement se fasse à cette époque. On ne doit pas être surpris que ces lourds insectes se mettent à voler pour faciliter le rapprochement des sexes et la recherche de bonnes places de ponte ; car on sait que, lors de la manifestation de l'instinct génésique, les habitudes de la plupart des animaux se modifient très nettement. Les coupes de pins sylvestres à blanc étoc, fraîchement exploitées, bien ensoleillées, garnies de leurs souches,

1. Altum. *Forstzoologie*, Berlin 1874, 3e vol., p. 179.



sont pour l'hylobe les milieux de ponte les plus favorables. Il les sent de très loin et y accourt en foule en y volant par essaim, attiré sans doute par l'odeur de résine qui se dégage des souches de pins, et des branches et autres rémanants qui restent sur le sol. C'est là que se fait, en mai, la copulation et la ponte. La femelle pond à plusieurs reprises et dépose toujours ses œufs sur les souches et les racines saillantes des pins sylvestres qui viennent d'être exploités. Quand les souches sont vieilles, sèches, sans aucune réserve de sève, elles sont dédaignées par l'insecte, pour lequel le pin sylvestre est le mets préféré. A son défaut, il s'installe dans les mêmes conditions sur l'épicéa. Dans les intervalles de ses pontes, il ronge l'écorce des jeunes pins ou des jeunes épicéas, et c'est surtout par là qu'il est nuisible, à l'inverse de son voisin le pissode, beaucoup plus commun et plus dangereux en France, dont les dégâts, sous forme d'insecte parfait, sont insignifiants à côté de ceux que commet la larve.

S'il se trouve sur la coupe des jeunes semis naturels de pins sylvestres ou d'épicéas, ils sont bientôt rongés par place de haut en bas, là où l'écorce n'est pas trop rhytidomée. L'insecte enfonce son rostre verticalement et ronge à fait toute l'écorce jusqu'au bois ; la plaie fraîche apparaît sous forme d'une tache blanche à contours nets, irréguliers, et couverte d'un peu de vermoulure (*fig. 6*) ; mais, quand il s'agit de plants un peu âgés, au-dessus de cinq ans par exemple, ces plaies disséminées se cicatrisent, et le plant, quoique rendu souffreteux pour quelques années avec son écorce couturée, ne meurt pas (*fig. 5*). Dans des coupes de pins sylvestres exploitées à blanc, près de Gondrecourt (Meuse), depuis deux ou trois ans, j'ai constaté que les quelques semis naturels de pins ou d'épicéas, restés sur la coupe et âgés de cinq à douze ans environ, portaient, le 9 mai, à côté de quelques plaies fraîches, dues certainement à l'hylobe, dont on a trouvé plusieurs spécimens, des plaies anciennes beaucoup plus nombreuses complètement cicatrisées. Ces attaques avaient nui évidemment à la bonne végétation des plants dont aucun pourtant n'était mort ; ils reprendront le dessus, puisque l'hylobe, faute de nourriture qui lui convienne, va déserter la coupe. L'insecte ne semble pas pouvoir s'attaquer à des rameaux âgés de plus de cinq ans. Les rémanants eux-mêmes, quand ils ne sont pas trop secs

ni trop rhytidomés, servent de pâture, mais pour peu de temps, et si l'on ne réinstalle pas immédiatement sur la coupe, comme on l'a fait à Chaumont, de jeunes plants de pins noirs ou sylvestres, sa proie préférée, l'hylobe, poussé par la faim, émigre, mais en marchant cette fois et non plus en volant, vers les plantations avoisinantes. C'est au pin sylvestre qu'il s'adresse de préférence, puis à l'épicéa, au pin noir et au mélèze; on l'a même trouvé en grand nombre sur de jeunes chênes, bouleaux et autres feuillus quand il n'avait rien autre à dévorer. Il n'aime pas à grimper haut; c'est par exception qu'on le voit monter à 2 et 3 mètres pour atteindre les parties des tiges ou des rameaux qui lui conviennent : ce sont les jeunes plants qu'il peut ronger dès le collet qui sont toujours attaqués d'abord.

Quand il a déposé sa ponte, il ne vit plus longtemps. On ne trouve plus, à la fin de juin, qu'un petit nombre d'insectes usés, affaiblis et, à partir de ce moment, il n'y a plus d'accroissement notable dans la pâture. C'est vers la fin de mai qu'il commence à émigrer des places de ponte vers les peuplements avoisinants, plus ou moins tôt, suivant l'abondance de nourriture qu'il trouve sur la coupe; en général, vers le 15 juin, l'émigration étant terminée, les forestiers allemands cessent de visiter les fossés de capture qu'ils installent souvent sur les limites des coupes à blanc étoc, qu'on pourrait appeler des *coupes de ponte* (Altum), pour empêcher l'invasion des jeunes fourrés du voisinage.

Quant aux œufs déposés sur les souches ensoleillées ou sur les racines saillantes, ils éclosent vite, et les larves qui s'enfoncent sous l'écorce atteignent d'ordinaire la moitié de leur taille au commencement de l'hiver, mais il peut se faire que certains hivernent à l'état de pupes. Au printemps, elles se réveillent et continuent leurs galeries, attaquant profondément l'aubier où elles creusent de longs et larges sillons, tantôt superficiels, tantôt profonds (*fig. 4*). Une fois arrivées à leur taille, elles sculptent dans le bois une cavité où se fait, au mois de juin, la nymphose (*fig. 4*). Cette phase est courte et ne dure que deux à trois semaines. Comme d'ordinaire, les insectes fraîchement éclos restent quelque temps dans le sol pour foncer et durcir leurs téguments; de fin juin à mi-juillet, ils se montrent à la surface et l'on trouve à ce moment, avec de vieux insectes usés qui

vont mourir, des individus frais, d'un brun vif, avec leurs touffes de poils jaunes sur les élytres. Ceux-ci se mettent aussitôt à ronger ; c'est la pâture d'automne, qui s'étend de juillet jusqu'aux derniers jours chauds de l'automne. A l'arrivée des froids, ils prennent leurs quartiers d'hiver là où ils se trouvent, sous la mousse, dans les souches pourries, les fentes des écorces. Quand reviennent les chaleurs du printemps, dès le mois d'avril, ils sortent de leurs retraites et volent par essaim à la recherche des places de ponte.

Tel est le cycle normal de l'insecte d'après les entomologistes forestiers allemands, notamment Altum, qui observait à Neustadt-Eberswalde ; mais, nous le répétons, il peut très bien se faire que, sous un climat un peu plus chaud, l'évolution soit plus hâtive. Le hanneton, dont le cycle évolutif est de quatre ans en Allemagne, n'a besoin, en France, que de trois ans pour accomplir ses phases.

Les dégâts de la larve sont absolument insignifiants, puisqu'elle ne s'attaque qu'à des souches d'arbres exploités n'ayant aucune valeur ; mais l'insecte parfait, lorsqu'il est abondant, peut détruire entièrement de jeunes plantations comme il vient de le faire à Chaumont, ou mettre en péril les fourrés au-dessous de dix ans, déformer les plants et entraver singulièrement leur croissance en hauteur.

Aussi, depuis longtemps, s'est-on préoccupé en Allemagne, Belgique, où abondent pineraies et hylobes, des mesures préventives ou destructives les plus efficaces.

Moyens préventifs. — 1° Destruction des places de ponte par le dessouchement avant l'arrivée des jours chauds du printemps. Toutes les souches, les racines superficielles, même assez menues, qui sont les seuls endroits propres à la ponte, doivent être enlevées avant le 1er avril. Dans les pineraies sablonneuses à sol meuble, comme il en existe tant en Allemagne et en Belgique, ce procédé, chaudement recommandé par les forestiers de ces pays [1] peut s'appliquer aisément. Les ouvriers, auxquels on abandonne le bois de souche pour leur chauffage, l'adoptent volontiers. Ce mode d'extraction ne coûte guère plus que l'abatage ordinaire et on prévient ainsi

1. Voir le *Bulletin de la Société centrale forestière belge*, passim.



tout dégât de la part de l'hylobe et de l'hylésine. Comme l'œuf pondu en mai-juin ne donnera, *au plus tôt,* naissance à l'insecte parfait qu'en juillet-août de l'année suivante, si l'exploitation se fait dans l'hiver 1903-1904, il faut, pour éviter tout danger d'invasion, que l'extraction des souches soit terminée en juin 1905. Si cette extraction est trop difficile, trop coûteuse, il est bon d'écorcer les souches jusqu'aux racines aussi profondément que possible pour empêcher les pontes de l'hylobe et de l'hylésine.

Il faut aussi enlever à temps, c'est-à-dire avant le moment de l'essaimage en avril, tous les rémanants des coupes à blanc étoc, rémanants dont l'odeur de résine attire les insectes.

2° Un autre procédé encore plus simple et absolument efficace, chaque fois qu'il ne reste pas sur le parterre de la coupe de jeunes semis naturels et qu'on est obligé de regarnir artificiellement, consiste à n'installer les jeunes plants que trois ans après l'exploitation. Les hylobes sont venus pondre en masse sur les souches, mais ni eux, ni leurs descendants n'ont trouvé de pâture et ils ont émigré pour ne pas mourir de faim. Dès lors, on peut procéder sans danger à la plantation (1).

3° Les forestiers allemands recommandent aussi, avec raison, lors de l'établissement du plan d'exploitation, de faire des coupes étroites et disséminées afin de gêner le vol de l'hylobe, du hanneton, et de rendre plus difficile la trouvaille des places de ponte. On installe les coupes en lanières successivement en trois ou quatre points éloignés les unes des autres.

Tels sont les moyens préventifs les plus employés.

Moyens destructifs. — 1° L'incendie des coupes envahies, ou plutôt leur sartage à feu couvert pratiqué avec de grandes précautions et une minutieuse surveillance ne donne pas, au dire des forestiers

1. « Dans le Harz, dit Altum, ainsi que dans le district domanial d'Aix-la-Chapelle et ailleurs, notamment dans les peuplements d'épicéas, on laisse avec succès la coupe se reposer jusqu'à ce que les écorces et les couches ligneuses externes soient pourries et ne puissent plus offrir de places de ponte. Tous les autres procédés n'ont été, d'après les circulaires de l'administration forestière, que des palliatifs insuffisants. Quand on plante des pins sylvestres, des épicéas, même des feuillus immédiatement après ces coupes à blanc, l'hylobe cause toujours de grands dégâts. »



belges qui ont expérimenté ce procédé [1], toujours dangereux, du reste, les bons résultats signalés par certains forestiers allemands (Altum). Il faudrait alors installer un foyer sur chaque souche.

2° Les *fossés de capture* que l'on creuse tout autour de la coupe à blanc étoc ou, au moins, entre cette coupe et les jeunes semis à protéger, sont destinés à barrer le chemin aux insectes qui viennent de pondre et qui, poussés par la faim, gagnent en marchant — après la ponte les insectes ne volent plus — les fourrés avoisinants où ils trouveront abri et pâture. Ces fossés, creusés vite et sans grands frais dans les pays plats, à sol sablonneux, meuble, sont très employés en Allemagne. C'est un procédé à la fois préventif et destructif. On garantit les peuplements menacés — *mesure préventive* — et, en faisant ramasser par des femmes et des enfants, pendant les quatre semaines de capture (mois de mai et jusqu'au 15 juin), les insectes qui s'accumulent dans les fossés où ils sont attirés par les fourrés de pins du voisinage, on en détruit des quantités considérables [2]. Là où l'installation de ces fossés a été faite à temps, on ne trouve presque pas de charançons dans le peuplement à protéger. « J'ai eu de la peine, dit Altum, à y rencontrer un seul plant rongé. » Là où, par contre, on n'a point creusé de fossés ou bien là où on les a pratiqués trop tardivement, toute la lisière du peuplement a été attaquée. On n'y rencontre presque aucune plante indemne et l'on a ainsi l'occasion d'observer que quand l'insecte trouve assez de pâture, il ne va pas plus loin. Dans la première année, cette pâture se limite à une bande de quinze pas de large.

---

1. « L'abatage de 4 hectares de pins sylvestres de la commune de Maissin a été pratiqué rez-terre et la parcelle essartée à feu couvert après la vidange des produits est actuellement couverte de seigle. *Malgré l'essartage,* la ponte de l'hylobe s'est effectuée dans les souches, et les larves, en quantité abondante, ont terminé complètement leur évolution... La section de Libin-bas a exploité à la même époque (1897) deux hectares de pins sylvestres ; le dessouchement n'a pas eu lieu ; mais les branches ont été incinérées sur place ; *le brasier fut intense.* Néanmoins, l'hylobe s'est multiplié en grande quantité dans les souches, et *la plantation d'épicéas,* prévue pour le printemps suivant, *a dû être retardée.* » (*Bulletin de la Société centrale forestière belge,* 1899, page 421).

2. En Allemagne, les insectes sont apportés au garde forestier, qui les tue en les immergeant dans l'eau bouillante. Un litre contient environ trois mille insectes.



3° Toute une série d'autres procédés destructifs reposent sur cette idée d'attirer les insectes par des places de ponte ou de pâture artificiellement préparées et de les détruire alors en masse, eux ou leur ponte.

On prépare d'excellentes places de ponte en mettant à nu les racines autour du collet des souches fraîches, en éclatant l'écorce et en recouvrant le tout avec de la terre et de la couverture morte. L'odeur de résine qui s'échappe de ces blessures attire puissamment l'insecte essaimant. Par les temps chauds, on y trouve, dès le lendemain, cinquante à quatre-vingts insectes rassemblés. Mais chaque souche ne reste que peu de temps munie de cette propriété d'attirer les insectes; on en prépare successivement d'autres de façon que, pendant tout le vol des insectes, il n'y ait chaque jour qu'un seul point de concentration où on peut les capturer en masse. Finalement, on arrache les souches avec les larves qu'elles contiennent.

On emploie aussi des fagots-pièges, qu'on répartit sur le sol de la coupe bien nettoyée. Les insectes s'y portent en foule pour se nourrir de ce matériel frais. On les secoue de bon matin ou le soir et on tue les insectes qui tombent. Dès que ces menues branches de pins sylvestres ou d'épicéas commencent à se dessécher, on les remplace par des fraîches. Au lieu de fagots, on peut employer de gros lambeaux d'écorces qu'on presse fortement sur le sol avec des pierres, le liber en-dessous. On les visite aussi matin et soir et on les remplace quand ils sont secs.

On peut même attirer l'insecte en lui offrant, sous forme de bois de quartier ou de rondins, des places de ponte illusoires. Les insectes se jettent en masse sur ce bois de quartier de pin sylvestre bien en contact avec le sol ou sur ces rondins de 1m,50 de long et de 4 à 8 centimètres d'épaisseur, qu'on enfonce obliquement dans le sol pour imiter les racines de pins. On les coupe et on les met en place en avril jusqu'au début de mai; on les retire dans la seconde moitié de juin, garnis de pontes. Tous ces procédés se sont montrés efficaces.

En examinant le cas qui s'est présenté à Chaumont, on constate d'abord qu'avant les coupes à blanc étoc qui ont commencé en 1901, l'hylobe n'avait pas fait parler de lui, n'ayant pas trouvé jusqu'alors

l'occasion de pulluler. Il existait certainement, mais à l'état sporadique comme à Gondrecourt [1].

Dans l'hiver 1901-1902, on exploite à blanc étoc des pins de quarante-cinq à cinquante ans et on replante sur ces coupes 37 000 pins sylvestres et 20 000 pins noirs dès l'automne 1902. Déjà, en 1903, on constatait que ces plans de trois ans, mis en place après repiquage, dépérissaient et, à l'automne de 1903, on a complété le garnissage de la coupe par 32 000 pins sylvestres et 18 000 pins noirs [2], soit, en tout, 107 000 plants. Dès le milieu d'avril 1904, une bonne partie de ces plants sont décortiqués complètement ou partiellement par l'hylobe.

C'est à ce moment que sont envoyés à l'école, par l'inspecteur de Chaumont, les plants et les insectes récoltés par le brigadier Mouillet. La notable élévation [3] de température qui a caractérisé les deux derniers tiers du mois d'avril a réveillé brusquement l'activité des insectes et les a incités à se porter en masse sur les places de ponte qui venaient de leur être fournies par les coupes à blanc. Les œufs pondus en mai 1902 ont pu déjà donner des insectes en juin 1903 et ceux-ci ont endommagé les plants installés à l'automne précédent. En avril 1904, les insectes éclos au mois de juin 1903 ont trouvé sur place ce qu'il leur fallait comme pâture et comme place de ponte et les dégâts n'ont fait que s'accentuer. Le 7 mai 1904, en examinant ces plantations, nous avons trouvé beaucoup de jeunes plants morts, entièrement décortiqués, avec l'hylobe à leur pied, et il est certain que les dégâts s'accentueront jusqu'au milieu de juin. En explorant une dizaine de souches, nous n'en n'avons trouvé que deux ou trois avec des chambres de nymphose.

Les agents forestiers, instruits par l'expérience, ont, avec grande

1. Sur les quelques pins de cinq à dix ans provenant de semis naturels, on trouvait, en effet, dans toute l'étendue des coupes (20 hectares), de nombreuses plaies cicatrisées dues à l'hylobe, qui s'y rencontre donc constamment, mais à l'état disséminé.

2. Renseignements dus à l'obligeance de M. l'inspecteur Jacquot.

3. Dans le jardin de l'École forestière, la moyenne diurne (moyenne arithmétique des températures à 8 heures du matin et 2 heures du soir), a été de 7°5 pour les huit premiers jours d'avril; elle s'est élevée à plus du double — à 16° — pour les douze jours suivants.



raison, différé la replantation des coupes exploitées en 1903-1904. S'ils avaient continué à planter, ils auraient fourni une nouvelle pâture à l'hylobe, tandis que l'insecte mourant de faim, une fois qu'il aura brouté le jeune matériel à sa portée, émigrera.

Il semble bien que la meilleure voie à suivre en pareille occurrence est la temporisation.

Après l'exploitation à blanc, que l'on attende deux ou trois ans, jusqu'à ce qu'on ne trouve plus, en avril-mai, d'insectes au pied des plants susceptibles d'être attaqués et, dès lors, on pourra replanter sans danger.

A côté de l'hylobe, il est un autre insecte coléoptère, également tétramère, mais appartenant à une autre famille, celle des *Xylophages* ou *Scolytides,* si redoutable pour les forêts de résineux, qui vient souvent ajouter ses dévastations à celles du charançon : nous voulons parler de l'hylésine piniperde (*Hylesinus* ou *Blastophagus piniperda*), scolytide représenté sous tous ses états sur la planche I. Il est d'un noir foncé avec des élytres à stries longitudinales pointillées, séparées par des lignes de poils (*fig.* 7); sa longueur est de 4 à 5 millimètres. Le troisième article des tarses (*fig.* 8) est cordiforme et le tibia est denté sur son bord externe, comme le montre la figure 8.

Dès les premiers jours un peu chauds du printemps, déjà en mars-avril, l'insecte quitte sa retraite d'hiver pour pondre sous l'écorce épaisse des souches de pins fraîchement exploités ou des pins abattus ou des arbres sur pied malades. La femelle perfore l'écorce dans les crevasses du rhytidome et, une fois fécondée, elle creuse une galerie de ponte longitudinale de 8 à 10 centimètres le long de laquelle elle dépose ses œufs (*fig.* 11). La femelle continue à pondre pendant quatre ou cinq semaines, si bien que les premiers œufs sont déjà à l'état de nymphe quand les derniers sont pondus.

Les larves creusent des galeries latérales (*fig.* 11), à l'extrémité desquelles elles se nymphosent, pour sortir à l'état parfait en juin-juillet.

Les insectes s'introduisent alors dans les jeunes rameaux des pins avoisinants — souvent dans la pousse terminale — et les font périr en en rongeant la moelle jusqu'au bourgeon terminal. Ceci se passe

depuis juillet et août jusqu'en automne. Alors les rameaux flétris tombent et jonchent le sol; l'arbre paraît avoir été taillé (*fig. 12*), ce qui a valu à l'insecte son nom de *jardinier du pin*. Vers la fin de l'automne, l'hylésine cherche un refuge au pied des pins, dans l'écorce moussue de la souche et reste en son gîte jusqu'au printemps.

Dégâts. — C'est un insecte très nuisible, bien plus à l'état parfait qu'à l'état de larve. Cependant, la ponte se fait parfois sur des plants de moins de vingt ans qui peuvent être sérieusement endommagés par la pâture des larves. L'insecte parfait, en détruisant les pousses, empêche la production des fleurs et des cônes, arrête ou ralentit l'accroissement et peu à peu, quand les attaques se répètent plusieurs années, amène chez de jeunes arbres tout d'abord sains et vigoureux un état maladif et des déformations qui les empêchent de donner des sujets d'avenir et les rendent propres à être attaqués par les autres scolytides.

Moyens préventifs. — Il faut enlever soigneusement tous les arbres malades ou endommagés où les insectes viennent pondre de préférence.

On doit, lorsqu'on craint une invasion d'hylésines, faire la vidange des coupes seulement vers la fin du mois de mai, pour emmener hors de la forêt la jeune couvée avant l'éclosion des insectes parfaits.

Dans les peuplements attaqués, on attire les insectes en quête de places de ponte en disposant de-ci de-là des tronçons d'arbres fraîchement abattus qu'on enlève avant la sortie des insectes parfaits pour les remplacer par d'autres pendant tout le temps où l'insecte vole, c'est-à-dire de mars à septembre.

L'ALIMENTATION SUCRÉE

PAR LES BETTERAVES DESSÉCHÉES

PAR MM.

ACHILLE MUNTZ

MEMBRE DE L'INSTITUT
ET DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE
PROFESSEUR-DIRECTEUR DES LABORATOIRES
A L'INSTITUT AGRONOMIQUE

A.-CH. GIRARD

MEMBRE
DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE
PROFESSEUR
A L'INSTITUT AGRONOMIQUE

INTRODUCTION

Nous donnons dans ce travail le résultat d'études et d'observations commencées il y a dix ans et qui n'ont, jusqu'à présent, reçu qu'une publication restreinte.

Au moment où l'attention commençait à se porter sur la valeur alimentaire du sucre et où l'on cherchait à conjurer la crise sucrière, préoccupés à la fois de généraliser l'emploi du sucre dans l'alimentation et de porter remède à la crise betteravière qui devait intéresser, avant tout, les agronomes, nous avons cherché les moyens de procurer à l'alimentation animale une source économique de sucre et de sauvegarder la culture menacée des betteraves en lui créant un nouveau débouché.

Nous avons cru trouver la solution de ce double problème dans la préparation, à l'aide de la betterave à sucre elle-même, d'un fourrage sec, transportable et économique.

Nos travaux dans ce sens datent de 1894, et, à cette date, l'un de nous exposait au comité scientifique de la Compagnie générale des

voitures les avantages multiples qui pouvaient résulter de ce mode d'utilisation, et présentait un échantillon de cossettes desséchées.

Depuis cette époque, nos études se sont continuées; elles ont abouti : 1° à une fabrication industrielle faite en 1899, à la sucrerie de Séclin, par les appareils de MM. Donard et Boulet, en vue d'étudier les conditions de cette fabrication et de nous mettre en possession de cossettes sèches, en quantité suffisante pour nos études; 2° à une série d'expériences pratiques faites, à l'aide de ces produits industriels, sur des chevaux de la compagnie des omnibus, mis obligeamment à notre disposition par M. Lavalard.

Pour ces diverses études, nous avons pris date à l'exposition universelle de 1900, en exposant, au nombre des travaux de recherches des laboratoires de l'Institut agronomique, des échantillons de nos produits et en remettant au jury une note détaillée sur leur préparation et leur emploi.

Depuis cette époque, longtemps après nos propres travaux, d'autres chercheurs ont eu la même idée, et nous sommes heureux de constater que, dans ces deux dernières années, la dessiccation des betteraves à sucre, dans le but de préparer un fourrage sucré, est sortie du domaine expérimental, où nous l'avions placée, pour entrer dans la pratique industrielle en France et en Allemagne.

Des usines, aujourd'hui, fabriquent des cossettes desséchées, et nous assistons à la réalisation d'idées, que nous croyons avoir été les premiers à concevoir et à expérimenter.

En présence de ces tentatives, et dans le but de les encourager, nous croyons utile de faire connaître nos travaux déjà anciens, qui, s'ils ont été répandus autour de nous, n'ont jamais fait l'objet d'une publication intégrale.

I. GÉNÉRALITÉS SUR L'ALIMENTATION SUCRÉE

Considérations théoriques.

Les matières sucrées jouent dans l'alimentation de l'homme et des animaux un rôle important, sur lequel une série de travaux récents ont attiré à nouveau l'attention. Sans vouloir en faire ici l'historique,

nous ne pouvons toutefois nous empêcher de citer les recherches de M. A. Chauveau, qui, dès 1856, complétant la découverte de Claude Bernard sur la fonction glycogénique du foie, a démontré que le sucre répandu dans tout le système circulatoire, jusqu'aux plus fins vaisseaux capillaires, s'y détruit, donnant ainsi la source principale de l'énergie consacrée à la production du travail.

MM. Chauveau et Kaufmann ont ensuite montré quelle relation existe entre l'énergie musculaire, la production du glycogène et la destruction du sucre du sang, déterminant les quantités d'acide carbonique dégagé et les quantités de glucose brûlé par un muscle ou une glande, suivant qu'il est au repos ou en activité ; ils ont formulé cette loi fondamentale que « pendant le travail qui s'accomplit dans les organes en état d'activité physiologique, la quantité de sucre qui disparaît dans le système capillaire devient plus considérable qu'au repos. Elle est proportionnée à la suractivité des combustions, excitées par la mise en jeu des organes ».

Pour tout résumer, M. Chauveau a montré que la matière sucrée est la source principale de la chaleur animale et de l'activité musculaire. Par ces recherches et par celles d'autres savants éminents (Voigt, Pettenkoffer, Kellner, etc.), il est aujourd'hui établi que ce n'est pas aux albuminoïdes que l'organisme emprunte la source principale de son énergie, comme le pensait Liebig, et comme on l'a longtemps professé, mais que c'est surtout aux hydrates de carbone, et au sucre plus particulièrement. Dans une série d'expériences, MM. Grandeau et Alekan ont pu introduire des doses élevées de sucre ($5^{kg},420$) dans la ration des chevaux en service et montrer pratiquement que le travail produit augmente avec la valeur calorifique de la ration, c'est-à-dire avec sa richesse en matériaux hydrocarbonés, notamment en sucre. Dans ces essais, ces savants ont pu même diminuer la matière azotée dans de fortes proportions et abaisser la relation nutritive à $\frac{1}{22,3}$.

La haute valeur du sucre au point de vue de la production de la force est établie sur des bases solides. Mais dans le problème de l'alimentation des animaux domestiques, il n'y a pas seulement à considérer ceux qui sont destinés au travail, chevaux ou bœufs, mais aussi ceux qui sont destinés à l'engraissement et à la lactation. Sur ce

point encore, la lumière est faite; des travaux nombreux ont montré la haute valeur des matières sucrées dans la production de la graisse et la puissance adipogène élevée du sucre; nous citerons seulement ceux de Lawes et Gilbert, en Angleterre; ceux de Mœrker, Albert, Kühn et Kellner, en Allemagne; ceux de MM. Dikson et Malpeaux, en France. Ces différents expérimentateurs opérant sur des bœufs, des vaches, des moutons, des porcs, en employant soit le sucre roux, soit la mélasse, ont montré, à n'en pas douter, les excellents effets du sucre sur l'engraissement.

Les expériences au point de vue de la lactation, moins nombreuses et plus sommaires, il est vrai, sont peut-être moins probantes; aucune, en tout cas, n'est défavorable, bien au contraire, à l'emploi des aliments sucrés pour les vaches laitières.

L'ensemble de travaux si nombreux sur l'introduction des matières sucrées dans l'alimentation montre donc que le sucre n'est pas seulement un condiment, comme on a été trop porté à le croire, mais un véritable aliment, et un aliment de premier ordre.

Quand on parle de l'introduction des matières sucrées dans l'alimentation, il convient de s'entendre. Dans le langage courant, ce terme s'applique seulement aux matières sucrées proprement dites, telles que le sucre cristallisé ou le sucre en sirop des mélasses, ou le sucre existant tout formé dans les produits végétaux, parfois en quantité importante. Dans le langage physiologique, l'expression s'élargit. Le sucre peut être introduit dans l'organisme non seulement à l'état de sucre tout formé, mais aussi à l'état de matières organiques diverses, plus particulièrement d'hydrates de carbone, susceptibles de se transformer dans l'organisme en glycogène et en glucose. Une fois cette transformation opérée, une fois le glucose mis en circulation dans le sang, quelle que soit son origine, son action physiologique est vraisemblablement la même; c'est ce qui a fait dire à M. Chauveau que le pouvoir nutritif des aliments doit être proportionnel à leur pouvoir glycogénétique, c'est-à-dire à la quantité de glucose qu'ils peuvent développer; c'est ce qui résulte aussi de ses expériences sur l'amidon, la graisse et le sucre.

Les propriétés que nous venons d'énumérer ne sont donc pas particulières aux sucres proprement dits, mais à toutes les substances

propres à fournir du sucre à l'organisme. Le sucre a-t-il une supériorité sur ces dernières, particulièrement sur les autres hydrates de carbone? C'est ce que nous devons envisager.

Dans le végétal, on rencontre du sucre, ou plutôt des sucres tout formés (saccharose, glucose, lévulose, synanthrose, etc.), caractérisés par une saveur douceâtre plus ou moins accentuée suivant la nature de la matière sucrée, caractérisés surtout par une grande solubilité et par une certaine aptitude à subir la diffusion, même à travers les membranes. Ils ont des compositions chimiques assez voisines les unes des autres.

Puis on trouve les matières amylacées, en général insolubles dans l'eau froide, susceptibles de se gonfler dans l'eau chaude, formant par hydrolyse, sous l'influence des acides et des diastases, de véritables matières sucrées, ayant tous les caractères des précédentes.

Enfin, nous rencontrons les corps cellulosiques entièrement réfractaires à l'action de l'eau froide ou chaude, réfractaires aussi à celle des diastases qui solubilisent l'amidon, solubilisées seulement par des actions microbiennes et se transformant difficilement et lentement en sucre sous l'influence des acides et de la chaleur.

Entre le sucre et l'amidon d'une part, et la cellulose d'autre part, se trouve un groupe de substances assez voisines les unes des autres et assez mal définies : ce sont les gommes, mucilages et corps pectiques, se gonflant sous l'influence de l'eau en s'y dissolvant plus ou moins, susceptibles de donner également des sucres par hydrolyse sous l'action des acides et de la chaleur. Parmi ces corps saccharifiables, on distingue actuellement des hexosanes, telles que la galactane, fournissant des hexoses, puis une proportion souvent élevée de pentosanes, telles que la xylane, donnant des pentoses ; enfin des hexopentosanes, mélanges de gomme en C^6 et en C^5 auxquels, d'après nos travaux et ceux d'autres auteurs, les corps pectiques semblent se rattacher.

Nous avons donc une série de composés comparables entre eux au point de vue de la constitution chimique, mais se présentant à des degrés différents de condensation et d'agrégation, se résolvant tous, avec une facilité plus ou moins grande, en matériaux sucrés solubles. La facilité et la rapidité avec laquelle cette transformation s'opère

par des moyens chimiques permet d'établir entre eux une sorte de classification.

Mais au point de vue spécial qui nous occupe, c'est dans la manière dont ces différents hydrates de carbone se comportent dans l'organisme qu'il faut chercher la base de cette classification, en évaluant notamment la quantité de glucose qu'ils peuvent fournir à la circulation. Or, cette quantité dépend de deux facteurs : 1° la quantité de glucose que les différents composés peuvent produire d'après leur composition chimique ; 2° la proportion de chacun d'eux absorbée réellement par l'organisme et entrant dans la circulation générale, c'est-à-dire la digestibilité.

Pour les principaux corps hydrocarbonés, le premier facteur présente peu de variations : ainsi, le glucose valant 1, le saccharose vaudra 1,05, l'amidon 1,10, c'est-à-dire qu'à poids égal, les différents hydrates de carbone peuvent produire sensiblement la même quantité de glucose.

Quant à la digestibilité, pour les matières sucrées proprement dites, elle est intégrale : tout ce qui entre dans le tube digestif est absorbé ; dans nos très nombreuses expériences de digestibilité, sur les aliments les plus divers, racines, tubercules, fourrages verts, fourrages secs, grains, nous avons constaté que la digestibilité des matières sucrées, saccharose, glucose, sucre inverti, synanthrose, était intégrale.

Il en est de même de la digestibilité des matières amylacées, avec cette observation, toutefois, qu'emprisonnées dans les cellules et n'étant pas immédiatement solubles, une petite partie parfois peut échapper à la transformation par suite d'une mastication insuffisante, et il n'est pas rare de trouver dans les déjections des animaux des fragments de grains ou des grains entiers.

Parmi les matières gommeuses, les unes, peu abondantes en général, telles que les corps pectiques, semblent être, d'après nos expériences directes et celles de Grouven, complètement digestibles, d'autres, au contraire, qui existent en abondance dans les fourrages, telles que les pentosanes, ne sont, d'après les expériences de MM. Lindsey et Rolland, et nos propres recherches, digestibles que dans la proportion de 40 à 60 %.

Enfin, la cellulose n'est que peu digestible, une grande partie se

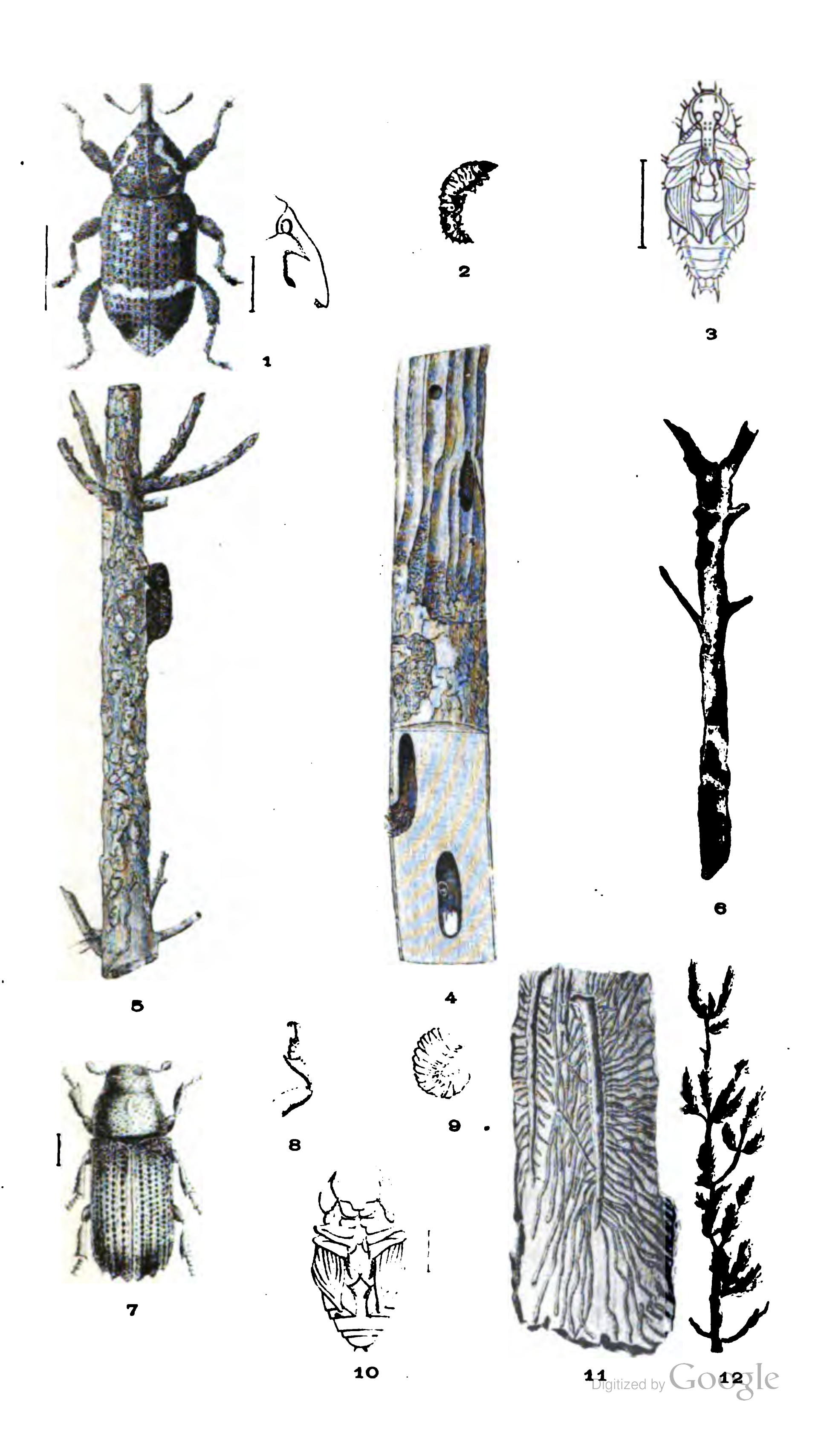
retrouve dans les matières excrémentitielles ; quelquefois la moitié, souvent plus des deux tiers, sont ainsi rejetés sans avoir joué un rôle utile dans la nutrition. Encore le coefficient de digestibilité de la cellulose n'est-il qu'apparent ; de la partie digérée par la différence de l'entrée et de la sortie, il faut en effet déduire celle qui, sous l'action des bactéries du tube digestif, a été transformée en produits gazeux (acide carbonique et formène) et qui a été détruite sans contribuer à la nutrition.

Mais à côté de ces deux facteurs primordiaux, production de glucose et de digestibilité, il en est un troisième que les travaux de M. Chauveau ont encore bien précisé ; c'est celui qui est relatif au travail interne nécessaire à l'organisme pour transformer les aliments en produits assimilables. Le pouvoir thermogène, la chaleur de combustion d'une substance ne représente que sa valeur brute. Pour avoir la valeur nette, l'énergie réellement utilisable, il faut déduire de la première valeur l'énergie consommée par les transformations intimes, telles que la solubilisation et la formation de glycogène. Dans l'état actuel de la science, il n'est pas encore possible d'évaluer exactement la force ainsi consommée par l'organisme et qui vient en diminution de celle produite par la combustion. Mais il semble, d'après les données expérimentales obtenues jusqu'ici, que ce n'est point une quantité négligeable et qu'il y a lieu d'en tenir compte dans le résultat final.

Il est certain que les sucres étant solubles ne nécessitent pas le travail préparatoire d'une solubilisation ; il n'y a à tenir compte que du travail nécessaire pour transformer en glucose, par l'intermédiaire des diastases réparties dans le tube digestif, les sucres tels que le saccharose.

L'amidon, au contraire, ne s'assimile pas directement, il a besoin d'être solubilisé au préalable par les amylases de la salive et du pancréas ; les matières gommeuses, elles aussi, doivent être solubilisées et saccharifiées, notamment par les acides dilués du suc gastrique ; quant à la cellulose, si peu soluble de sa nature, elle ne peut pénétrer dans la circulation qu'après des modifications profondes dues surtout à des actions microbiennes.

A ces transformations chimiques qui consomment de l'énergie,


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

s'ajoute le travail mécanique nécessaire pour détruire l'agrégation et produire la division.

Il est évident que le sucre, envisagé à ces points de vue, présente une supériorité sur les autres hydrates de carbone, puisqu'il nécessite de l'organisme un moindre effort pour son utilisation.

Considérations économiques.

A ces considérations d'ordre théorique en faveur de l'alimentation sucrée, sont venues s'ajouter des considérations d'ordre économique qui donnent à la question un intérêt encore plus grand et la placent sur un terrain nouveau.

Crise betteravière. — C'est un fait acquis qu'à l'heure actuelle et pour plusieurs pays, la production industrielle du sucre est en excédent sur la consommation. Cet excédent pour la France a été évalué à environ 300 000 à 400 000 tonnes. La législation, les progrès de la culture, le perfectionnement de l'industrie, tout a concouru à accroître la production; malheureusement, la consommation n'a pas suivi la même progression. L'état actuel du marché européen et même mondial fait prévoir que la France ne peut pas compter sur les exportations pour l'écoulement du trop-plein (1).

On peut en dire autant de la distillerie dont la situation est analogue; elle aussi souffre de la surproduction, cherche des débouchés nouveaux et place actuellement ses espérances dans l'emploi industriel de l'alcool à l'éclairage et au chauffage.

A cette crise, il n'y a que deux remèdes : accroître la consommation ou restreindre la production.

La deuxième solution intéresse au plus haut point l'agronome, car elle touche à l'avenir d'une culture de premier ordre. Ainsi, pour rétablir l'équilibre entre la production et la consommation de sucre, qui seul nous intéresse ici, M. Grandeau a calculé qu'il faudrait supprimer en France 100 000 hectares environ de betteraves

1. La convention de Bruxelles, survenue depuis la rédaction de ce mémoire, n'est pas, on le sait, de nature à améliorer cette situation.

sucrières. Ce serait un sacrifice auquel il est difficile de se résoudre.

La culture de la betterave à sucre fait, en effet, la fortune de plusieurs régions françaises. Après avoir vu tour à tour péricliter dans ces mêmes contrées les cultures industrielles des plantes oléagineuses et textiles, faudrait-il voir encore diminuer cette source de richesse ? Les plus grands efforts doivent être faits pour échapper à cette cruelle nécessité. C'est uniquement dans l'accroissement de la consommation du sucre sous toutes ses formes qu'on doit chercher le remède à la crise betteravière.

L'abaissement des droits fiscaux sur le sucre destiné à la consommation humaine est à ce point de vue un bienfait évident et qui portera tous ses fruits lorsque, dans la masse des consommateurs, se seront diffusées des notions plus exactes sur la haute valeur de cet aliment, lorsque le public, plus instruit, saura que le sucre n'est pas un condiment et une denrée de luxe, mais une source économique d'énergie.

Emploi de la mélasse. — L'utilisation de la mélasse à l'alimentation du bétail est aussi un moyen de décharger dans une certaine mesure à la fois le marché des sucres et celui des alcools. La mélasse, qui contient environ 45 °/₀ de sucre à l'état de saccharose, mélangé de faibles proportions de sucre inverti et accompagné de matières minérales qui entravent la cristallisation, est un résidu important de l'industrie sucrière, représentant 3,5 à 4 °/₀ du poids total des betteraves travaillées.

Après avoir, pour diverses considérations, renoncé à en retirer le sucre par les procédés de l'osmose et de la sucraterie, l'écoulement de la mélasse s'est fait vers les fabriques d'alcool. Aujourd'hui, sous l'influence des idées que nous avons exposées et aussi de l'abaissement du prix des alcools entraînant l'abaissement du prix des mélasses, la sucrerie a fait des efforts pour assurer leur écoulement du côté de l'alimentation des animaux domestiques. Ce nouveau débouché, facilité par des lois fiscales, par des mesures successives concernant la dénaturation et la circulation, prend chaque jour plus d'importance. Les expériences directes sur le bétail, qui ont été faites

tant en France qu'à l'étranger, ont donné d'excellents résultats. Ces expériences sont trop nombreuses pour que nous puissions songer à en faire le résumé qui, du reste, a été présenté par M. Grandeau dans une intéressante brochure. Qu'il s'agisse de la production du travail par les chevaux, de l'engraissement des bœufs, des moutons et des porcs, de la production laitière, toutes concordent pour montrer les heureux résultats qu'on peut obtenir par l'introduction judicieuse de la mélasse dans les rations des animaux de la ferme.

Ces expériences ont permis de préciser les limites à observer dans l'emploi de la mélasse. La mélasse contient en effet, outre le sucre et l'eau, un ensemble de produits auxquels on donne le nom abréviatif de non-sucre. Ce non-sucre comprend des matières organiques et des matières minérales. Les matières organiques sont formées surtout d'acides organiques, de composés gommeux et de matières azotées. Ces dernières sont presque entièrement à l'état d'amides; ainsi, dans certains produits, nous avons dosé 9,87 °/₀ de matières azotées totales (Az $\times$ 6,25) et seulement 0,08 °/₀ de matières albuminoïdes. Ces matières azotées n'ont de valeur que par le carbone qu'elles contiennent; on peut même se demander si, ingérées à hautes doses, elles ne peuvent pas provoquer des désordres. Quant aux matières minérales, leur taux dépasse souvent 10 °/₀ du poids total, avec le tiers de sels alcalins. L'abondance de ces sels, et particulièrement de sels potassiques, n'est pas sans inconvénients, et la pratique a fixé pour les différentes espèces animales la limite de tolérance de l'organisme, c'est-à-dire les doses qu'il ne faut pas dépasser afin d'éviter des accidents tels que polyurie, diarrhée, etc. (Moussu, Mœrker, Curot). Au-dessous de ces doses, variables avec les espèces d'animaux et même les individus, la mélasse a plutôt une action favorable sur la santé.

L'emploi direct de la mélasse, sous forme de produit brut ou mélasse verte, n'étant possible que dans les grandes exploitations, on a cherché à le rendre plus pratique en la présentant sous forme de mélanges secs, faciles à transporter, à conserver et à distribuer. Comme excipient, on a pris parfois des matières inertes comme la tourbe, quelquefois des déchets de peu de valeur; on a associé aussi

la mélasse à des produits ayant une valeur alimentaire appréciable : menus grains, sons de froment, drèches, germes d'orge ou de maïs, tourteaux, etc.; quelquefois avec des fourrages usuels : paille, foin, ajonc, etc. On est ainsi arrivé à préparer des produits sans nombre sous forme de pains, tourteaux, mélanges divers, dans lesquels la proportion de mélasse est très variable et dépasse rarement 50 °/₀, correspondant à environ 25 °/₀ de sucre. Inutile d'ajouter que pour l'achat de produits complexes, où la nature des constituants n'est pas exactement connue, le contrôle analytique est indispensable et la même circonspection s'impose que pour l'achat des engrais complexes.

Le prix des mélasses brutes est variable; il oscille, suivant les années, autour du chiffre élevé de 20 cent. le degré, c'est-à-dire le kilogramme de sucre; après passage dans les mélanges commerciaux, le prix est encore très souvent majoré.

Sous les réserves qui précèdent, l'emploi de la mélasse dans l'alimentation du bétail est recommandable, et il serait désirable de le voir se généraliser. Mais il ne faut pas dissimuler que l'agriculture ne pourra jamais compter d'une façon régulière sur cette ressource; car la mélasse subit des fluctuations de prix en rapport avec le cours des alcools. C'est seulement dans le cas où la distillerie ne pourra payer les mélasses qu'à un prix très bas, que l'agriculteur, dominé toujours par les considérations économiques, pourra s'adresser avantageusement à ce produit. La distillerie lui fera toujours concurrence et, par conséquent, il est à craindre que l'utilisation de la mélasse pour l'alimentation du bétail ne soit aléatoire et intermittente.

Et même, si toutes les mélasses livrées par l'industrie sucrière entraient dans la consommation des animaux de la ferme, il s'en faudrait que l'agriculture ait à sa disposition autant de matériaux sucrés qu'elle pourrait utilement consommer.

D'autre part, l'utilisation des mélasses par le bétail ne résout pas la question telle que nous l'avons posée; elle ne répond pas à la préoccupation actuelle, qui consiste à chercher un débouché pour l'excédent du sucre fabriqué; elle donne simplement au sous-produit de la sucrerie un acheteur nouveau.

Emploi des sucres bruts. — Pour accroître les débouchés du sucre, on a cherché un autre consommateur que l'homme et la pensée est venue de donner au bétail non seulement le résidu de l'industrie sucrière, mais bien le sucre lui-même, c'est-à-dire le produit extrait en vue même de cette consommation. On a proposé, en un mot, de fabriquer du sucre pour les animaux. A l'heure qu'il est, la consommation humaine, tout au moins dans les pays civilisés, n'accepte plus que les sucres raffinés, c'est-à-dire débarrassés de tous les produits qui les accompagnaient, et présentés sous la forme de sucre blanc. Il n'est pas question, pour les animaux, d'arriver à ce degré de raffinage, mais simplement de donner des sucres cristallisés bruts, tels que les produit la cristallisation des jus dans les sucreries (sucres roux de troisième et quatrième jet à environ 88 °/ₒ de saccharose).

Les sucres auraient sur les mélasses l'avantage de n'être pas accompagnés de quantités importantes de matières minérales ou organiques étrangères, dont nous avons signalé certains inconvénients ; ils pourraient par suite être introduits dans les rations en plus forte quantité. De plus, le transport, la conservation, la manutention et la manipulation sont bien plus faciles ; la fabrication des mélanges complexes à valeur mal définie ne serait plus nécessaire. Les essais directs qui ont été faits par différents expérimentateurs (Mœrker, Albert, Grandeau, etc.) pour l'alimentation de divers animaux ont donné des résultats excellents.

La pensée de préparer du sucre en vue de l'alimentation des animaux domestiques repose sur deux considérations qui sont également justes ; la première, c'est que le sucre est un aliment de grande valeur, autant pour la production de l'énergie que pour l'engraissement ; la seconde, c'est que l'agriculture est en mesure de produire des quantités presque illimitées de sucre en développant la culture de la betterave sur de grandes surfaces. Le sucre n'emprunte rien au sol ; il se produit exclusivement aux dépens d'éléments fournis en quantité indéfinie par l'atmosphère, l'eau et l'acide carbonique se combinant dans la cellule vivante sous l'influence des radiations solaires. La production du sucre, considérée au point de vue théorique, n'est donc pas une cause d'épuisement du sol et les matières fertilisantes que la plante a emmagasinées peuvent faire intégralement

retour à la terre et servir indéfiniment à un nouveau cycle d'élaboration des matériaux sucrés.

Cette conception ferait envisager sous des apparences séduisantes l'idée de produire le sucre en vue de l'alimentation des animaux domestiques, si le problème n'était pas dominé par les considérations économiques. On sait, en effet, combien la fabrication du sucre est coûteuse et compliquée et, en outre, on sait que des droits fiscaux grèvent encore ce produit.

Même en admettant que jamais l'agriculture puisse obtenir le dégrèvement intégral de ces droits, les sucres roux atteignent encore des prix tels que le kilogramme de matière utile reviendrait, aux bas cours actuels, à environ 28 cent. C'est donc un aliment trop cher dont le prix dépasse de beaucoup celui des produits similaires, tels que l'amidon des grains ; dans ceux-ci, par exemple, le prix de la matière amylacée est d'environ 12 cent., dépassant rarement 15 cent. La supériorité que pourrait avoir le sucre sur l'amidon ne compense pas, il s'en faut de beaucoup, cette différence énorme de prix.

Le simple raisonnement conduit à conclure que l'idée d'extraire le sucre de la betterave pour l'offrir aux animaux n'est qu'une utopie et restera toujours, quelques modifications industrielles et économiques qui se produisent dans l'avenir, sans portée pratique.

Est-il admissible que l'industrie travaille à grands frais la betterave à sucre pour la séparer en trois parties : sucre, mélasse et pulpes qui, toutes les trois ensuite, reviendront au bétail ? Pourquoi tant d'efforts, pourquoi tant de dépenses, pourquoi tant de complications de toutes sortes, alors qu'il est si simple et si naturel de donner au bétail la betterave elle-même, de même qu'on lui donne les grains et non pas l'amidon pur ?

L'animal est habitué, c'est là une supériorité sur l'homme, à se contenter de matériaux naturels et n'ayant pas subi ces préparations dont les progrès de la civilisation ont fait une coûteuse nécessité pour l'espèce humaine.

Il n'est pas besoin, pensons-nous, d'insister davantage pour démontrer ce fait évident par lui-même, qu'il est plus logique et plus économique d'employer la betterave en nature, sans lui faire subir des frais de traitement élevés, n'ayant d'autres résultats que de pré-

senter le produit sous une autre forme sans même en augmenter la valeur intrinsèque.

Si donc l'emploi du sucre en nature dans l'alimentation du bétail se présente actuellement comme une utopie, il ne faut pas compter sur ce débouché pour écouler le trop-plein de la production de nos sucreries, et pour l'agronome subsiste la crainte de voir se restreindre la surface cultivée en betteraves, alors qu'il désirerait, au point de vue de la richesse agricole de notre pays, voir se développer au maximum cette culture de progrès.

Emploi des betteraves sucrières en nature. — La consommation des betteraves en nature se présente comme la solution la plus rationnelle, et si la betterave était employée directement à l'alimentation, la consommation faite dans ce sens viendrait s'ajouter à celle que font la sucrerie et la distillerie. La question sortirait alors des limites étroites où on l'envisage généralement en se bornant à chercher des remèdes à la crise de la sucrerie et de la distillerie et à sauvegarder ces deux industries; elle se placerait sur le terrain autrement large de la production betteravière, à laquelle se trouve lié l'avenir de vastes régions agricoles.

Créer une industrie neuve qui consisterait à préparer la betterave en vue d'une destination nouvelle, c'est, en effet, procurer à l'agriculture un débouché qui peut devenir considérable, et imprimer un nouvel essor à une culture qu'on doit à tout prix sauver de la déchéance.

C'est bien ainsi que, préoccupés des intérêts agricoles plus que des intérêts industriels en jeu, nous avons depuis 1894 compris le problème au double point de vue de la solution de la crise betteravière et de l'alimentation animale par le sucre.

Les betteraves se classent ordinairement en betteraves fourragères, sucrières et demi-sucrières. M. Dehérain a fait tout d'abord la démonstration de la mauvaise qualité des grosses racines, en général très aqueuses et chargées de nitrates, et, le premier, fait pressentir l'intérêt qu'il y aurait à substituer aux variétés fourragères des variétés sucrières ou demi-sucrières.

M. Gay montra ensuite qu'à quantité égale de matière sèche, la

betterave à sucre possède des qualités nutritives plus grandes que celles de la betterave fourragère, à cause de sa plus grande digestibilité. Enfin, M. Garola, dans une intéressante série d'expériences de culture et d'alimentation, apporta une confirmation à ces idées, en montrant que les races sucrières de betteraves fournissent à l'hectare beaucoup plus de substances nutritives totales et digestibles que les betteraves fourragères.

L'ensemble de ces faits si concordants montre bien les avantages que présente la consommation, par le bétail, de la betterave à sucre. Mais la possibilité de l'alimentation du bétail par la betterave est limitée par la durée de conservation de celle-ci ; même en appliquant l'ensilage, la consommation ne peut se poursuivre que pendant quelques mois d'hiver. De plus, le prix du transport est trop élevé pour pouvoir faire participer au bénéfice de cette alimentation sucrée des animaux autres que ceux de la ferme où se pratique la culture. La betterave ne peut être consommée que sur place ; ce n'est pas une denrée transportable. Enfin, une autre considération s'applique à une certaine catégorie d'animaux : Si les ruminants qui sont en stabulation, et qui n'ont à effectuer qu'un travail modéré, peuvent sans inconvénients recevoir dans leurs rations de fortes quantités de betteraves, ceux qui sont employés à un travail plus rapide et dont l'estomac est plus restreint, comme les chevaux, exigent des aliments plus concentrés, moins aqueux, occupant moins de volume et se consommant plus rapidement. L'excès d'eau qui nécessite l'emprunt d'énergie supplémentaire et qui dilue les sucs digestifs n'est pas bon pour les animaux de travail.

L'emploi direct de la betterave sucrière pour l'alimentation des animaux se trouve donc ainsi localisé et limité, et la question que nous venons de poser ne serait pas résolue par la consommation de la betterave en nature. Il faut donc faire subir à la betterave une préparation supprimant ces inconvénients et permettant de généraliser son utilisation. On pourrait ainsi conserver à la culture de cette plante toute son importance et même lui donner un plus grand développement. Mais au lieu de lui faire subir une préparation aussi coûteuse que celle qui aboutit à l'extraction du sucre, il suffit de la soumettre à une simple dessiccation, qui conserve la totalité des principes

nutritifs, les concentre sans les altérer, se bornant à l'élimination de l'eau. On obtient ainsi un produit concentré, pouvant se transporter économiquement, se conserver indéfiniment et permettant de faire participer aux bénéfices de l'alimentation sucrée l'ensemble des animaux domestiques de notre territoire.

II PRÉPARATION ET EMPLOI DES BETTERAVES DESSÉCHÉES

Ces considérations nous ont amené à étudier la fabrication de la betterave desséchée. Nos premiers essais dans cette voie remontent à 1894, avant l'époque où l'attention a été si vivement appelée sur la consommation des matériaux sucrés. Nos expériences de préparation industrielle et d'alimentation ont été faites de 1896 à 1899 et, à l'exposition de 1900, nous avons fait figurer des échantillons de cossettes de betteraves desséchées en vue de la nourriture des animaux.

La dessiccation industrielle des matières très humides se fait aujourd'hui sur une grande échelle, pour de nombreux produits, dans des appareils de formes diverses ; elle s'applique à des matières premières plus aqueuses et d'une valeur vénale moindre que celle de la betterave ; nous citerons, par exemple, les drèches de brasserie, de distillerie et d'amidonnerie, les pulpes et cossettes de diffusion de la betterave, etc. Ces dernières, par exemple, contiennent à peine 10 °/₀ de matière sèche, tandis que la betterave en contient environ 20 °/₀. Il n'était donc pas téméraire de penser que les betteraves à sucre pouvaient être avantageusement traitées par des procédés analogues, et nous avons dirigé nos études dans ce sens, non seulement en préparant au laboratoire des betteraves sèches, en en déterminant la composition et les propriétés, mais aussi en les faisant préparer en grande quantité dans des appareils industriels et en les introduisant dans les rations des animaux.

Choix de la betterave.

Nous avons tout d'abord cherché parmi les différentes variétés de betteraves celle qui, au point de vue du rendement à l'hectare en

matière nutritive et au point de vue de la richesse en sucre du produit sec, devait nous donner les meilleurs résultats.

A l'heure qu'il est, les diverses variétés de betteraves peuvent se classer :

1° En betteraves fourragères donnant des rendements en racines très élevés, mais avec une richesse saccharine faible ;

2° Les betteraves de distillerie dont les rendements sont moins élevés, mais dont la richesse en sucre est beaucoup plus grande ;

3° Enfin, les betteraves de sucrerie donnant des rendements plus faibles encore, mais avec une teneur en sucre notablement supérieure.

Au point de vue spécial de la transformation des betteraves en un produit sec sucré, nous devons comparer ces trois variétés en considérant à la fois la quantité de sucre produite par hectare de terre cultivée, la composition de la betterave, sa richesse en sucre, et enfin la quantité d'eau à évaporer.

Pour les betteraves fourragères, nous pouvons admettre un rendement de 50 000 à 60 000, soit 55 000 kilogr. en moyenne par hectare, et une teneur en sucre de 4 à 5, soit 4,5 °/₀. L'hectare fournirait donc en moyenne 2 475 kilogr. de sucre.

Pour les betteraves de distillerie, nous pouvons admettre un rendement de 40 000 à 45 000, soit 42 500 kilogr. en moyenne, avec une richesse de 11 à 12, soit 11,5 °/₀ en moyenne, ce qui représente, par hectare, une production moyenne de 4 890 kilogr. de sucre.

Enfin les betteraves de sucrerie donnent avec un rendement de 25 000 à 30 000 kilogr., soit 27 500 en moyenne et une richesse de 14 à 16, soit 15 °/₀, un rendement de sucre par hectare de 4 125 kilogr.

D'après ces chiffres moyens, que nous ont fournis des agriculteurs très compétents, c'est la betterave de distillerie qui, dans les mêmes conditions de culture, produit les plus fortes quantités de sucre pour une même surface.

Considérons maintenant, d'une part, ce que peut donner la transformation de ces différentes betteraves en produit desséché, et, d'autre part, quelles quantités de betteraves il faudrait mettre en œuvre et quelles quantités d'eau il faudrait évaporer, pour obtenir

100 kilogr. de produit amené à un état de siccité comparable à celui des grains et fourrages, soit à une teneur moyenne de 13 °/o d'eau :

1° Betteraves fourragères.

100 kilogr. de racines donnent $10^{kg},9$ de produit sec à 13 °/o d'eau, et exigent l'évaporation de.	$89^{kg},1$	d'eau.
100 kilogr. de betteraves sèches à 13 °/o nécessitent 917 kilogr. de betteraves brutes et l'évaporation de.	817 »	d'eau.
100 kilogr. de betteraves sèches à 13 °/o contiendront.	41 ,3	sucre.

2° Betteraves de distillerie.

100 kilogr. de racines donnent $18^{kg},96$ de produit sec à 13 °/o d'eau, et exigent l'évaporation de	$81^{kg},4$	d'eau.
100 kilogr. de betteraves sèches à 13 °/o nécessitent 527 kilogr. de racines, et l'évaporation de.	427 »	d'eau.
100 kilogr. de betteraves sèches à 13 °/o contiennent	$60^{kg},6$	sucre.

3° Betteraves de sucrerie.

100 kilogr. de racines donnent $22^{kg},98$ de produit sec à 13 °/o d'eau et exigent l'évaporation de.	$77^{kg},2$	d'eau.
100 kilogr. de betteraves sèches à 13 °/o nécessitent 435 kilogr. de racines et l'évaporation de.	355 »	d'eau.
100 kilogr. de betteraves sèches à 13 °/o contiennent	63 ,25	sucre.

Dans ces calculs, qui n'ont rien d'absolu, nous avons admis, ce qui du reste est très près de la vérité, que dans les diverses betteraves, c'est la proportion de sucre seule qui varie et que l'ensemble des matières non sucrées reste sensiblement invariable au chiffre de 5 °/o. Il est évident que pour chaque cas particulier les bases de calcul devront être établies sur des analyses précises d'échantillons moyens.

Pour obtenir 100 kilogr. de produit desséché, il faudrait donc évaporer :

	EAU.
Avec les betteraves fourragères.	817 kilogr.
— — de distillerie	427 —
— — de sucrerie.	335 —

La dépense de combustible à employer serait donc environ le double pour les betteraves fourragères que pour les betteraves riches en sucre ; pour ces racines aqueuses, il faudrait en outre doubler les

frais de transport, de manutention, de hachage, etc.; enfin, le produit obtenu serait d'un tiers moins riche en sucre.

Toutes ces considérations nous portent à éliminer, pour la préparation envisagée, les betteraves dites fourragères, chargées d'eau et pauvres en sucre.

Nous avons donc à choisir entre les betteraves de sucrerie et les betteraves de distillerie. Les premières donnent incontestablement un produit plus riche et exigent une moindre évaporation d'eau, mais les différences, en somme, ne sont pas très élevées. Il faut, pour déterminer le choix à établir, faire intervenir un nouveau et très important facteur, le prix d'achat de la matière première.

La betterave de distillerie, dans ces dernières années, se vendait en moyenne 16 fr. la tonne; mais comme, pour la préparation des cossettes destinées à l'alimentation, le décolletage n'est pas nécessaire et qu'on peut prendre les racines entières simplement débarrassées des feuilles, on peut sans erreur admettre que le prix pour ces dernières seraient seulement de 15 fr. la tonne. La préparation de 100 kilogr. de cossettes desséchées serait donc grevée, d'après nos calculs précédents, du fait de l'achat de la matière première, de 7 fr. 90.

Pour la betterave de sucrerie pouvant donner 23 kilogr. de cossettes desséchées à 13 °/ₒ d'eau, et se vendant en moyenne 24 fr. la tonne décolletée ou 22 fr. 50 non décolletée, on voit que la préparation des 100 kilogr. de produit sera grevée, du fait de l'achat de la matière première, de 9 fr. 80 environ.

Il y a donc entre la betterave de sucrerie et la betterave de distillerie un écart dans le prix de revient de près de 2 fr. Cet écart sera compensé en partie, il est vrai, par l'économie réalisée dans la dessiccation de la betterave à sucre ($427 - 335 = 92$ kilogr. d'eau en moins à évaporer) et par la plus-value du produit obtenu qui contiendra $4^{kg},6$ de sucre en plus. La betterave de sucrerie donnera donc un produit un peu plus cher, mais un peu plus riche.

Mais, en résumé, on peut admettre que, sans différence très notable dans le prix de revient final des cossettes sèches, on peut s'adresser aux betteraves de distillerie et aux betteraves de sucrerie, en excluant toutefois les racines de sucrerie exceptionnellement riches, pour les-

quelles on paye une prime, et les racines de distillerie trop pauvres ; c'est sur des produits moyens de l'une ou l'autre catégorie qu'il convient d'opérer.

Il est bien entendu que le calcul des prix de revient variera avec les circonstances. Suivant les cours respectifs des betteraves de sucrerie et de distillerie, la différence en faveur de l'une ou de l'autre peut s'accentuer ou s'atténuer. Le choix des deux betteraves sera donc une question d'opportunité, et dans l'état actuel des deux industries de la sucrerie et de la distillerie, il faut s'attendre à des oscillations nombreuses dans le prix d'achat des diverses betteraves.

Dessiccation industrielle.

Ces données étant posées, nous devons envisager la question de la dessiccation industrielle, au point de vue technique et économique. Nous n'avons pas à décrire ici les nombreux appareils pouvant être employés à cet usage. Il y a longtemps que l'industrie fait des efforts pour concentrer les résidus qu'elle produit et pour les transformer en produits secs et transportables.

Différents types d'appareil sont en usage, celui de Hencke, sorte de cylindre séchoir où la dessiccation se fait par la vapeur ; celui de Hecking, double cylindre à palettes où la matière remuée se dessèche sous l'action de la vapeur ; celui de Cummer, où la matière est soumise dans un cylindre tournant à l'action d'un mélange de gaz chauds et d'air aspiré de l'extérieur. Mais les deux appareils industriels qui nous paraissent actuellement les plus dignes de retenir notre attention pour le but que nous nous proposons, ce sont celui de MM. Büttner et Meyer, qui obtint en Allemagne le prix institué par l'Union des fabricants de sucre pour la dessiccation des cossettes de diffusion, et celui de MM. Donard et Boulet, pour la dessiccation dans le vide à basse température de toutes matières solides.

Procédé Büttner et Meyer. — Le procédé de MM. Büttner et Meyer, très répandu en Allemagne, consiste à soumettre la cossette fraîche à l'action d'un courant d'air chaud, créé au moyen d'un ventilateur aspirateur ; l'air, avant d'être en contact avec la cossette, s'échauffe

en traversant un foyer plein de coke dont il active la combustion et atteint la température de 600° qui a été jugée la plus convenable.

« L'appareil proprement dit se compose d'un bâti général en maçonnerie renfermant trois étages de chambres également en maçonnerie, groupées deux par deux à chaque étage. Ces chambres surbaissées, de 1 mètre environ de largeur chacune, sont de la longueur du four, 4 mètres environ. Chaque plancher a la forme cylindrique. Ceux du premier et du deuxième rang n'occupent pas toute la longueur de la chambre. Les vides ainsi laissés sont placés en chicane; de cette façon, ce qui tombe à la sortie du premier étage est reçu à la tête du deuxième; ce qui tombe du deuxième est reçu à la tête du troisième; c'est-à-dire que ce qui entre dans l'appareil, air chaud et cossettes, parcourt les trois étages avant de sortir.

« Dans chaque chambre se trouvent des axes cylindriques munis de palettes, ayant pour but les unes d'agiter la cossette, les autres de ralentir la marche de la matière activée par l'air chaud allant dans le même sens. Ce courant d'air chaud entraîne avec lui les cossettes ayant, par la dessiccation, acquis une légèreté suffisante. L'air entré à la température de 600° sort à une température d'environ 100° appelé par un ventilateur qui l'expulse du système. »

On compte que, avec un appareil d'un fonctionnement parfait, 1 kilogr. de charbon peut évaporer 9 kilogr. d'eau; mais l'appareil de MM. Büttner et Meyer évapore seulement, d'après les auteurs :

		EAU
Par kilogramme	de coke	9 kilogr.
—	de charbon	7 —
—	de lignite	5 —

Mais si, au lieu de partir d'un produit à 92 °/₀ d'eau, comme le sont les cossettes de diffusion, on part d'un produit à 80 ou 83, comme le sont les betteraves de sucrerie et de distillerie, la dépense de combustible sera moins grande.

Nous n'avons pas eu l'occasion de vérifier ces chiffres, qui sont, paraît-il, le résultat d'une longue pratique. Nous savons seulement que, à la sucrerie de Fismes-Gare (Marne), une des rares usines, pour ne pas dire la seule en France où fonctionne l'appareil Büttner

et Meyer, on ne compte que sur une évaporation de $6^{kg},5$ d'eau par kilogramme de charbon ; ce chiffre indique un fonctionnement assez médiocre de l'appareil et une perte de chaleur assez grande.

En partant de ce chiffre de $6^{kg},5$, on voit que pour obtenir 100 kilogr. de cossettes à 13 °/₀ d'eau, il faudrait dépenser :

Dans le cas de betteraves :

De sucrerie. .	$51^{kg},5$ de charbon à 30 fr. les 1 000 kilogr., soit		1 fr. 55
De distillerie .	62 ,5	— —	1 fr. 88

Le reproche qu'on peut adresser à ce système, c'est d'abord le prix élevé de son installation, et ensuite la haute température à laquelle sont soumises les cossettes. Or, on sait que la digestibilité des matières azotées diminue dans les produits surchauffés ; quant au sucre, il se caramélise. Il ne perd pas, pensons-nous, de sa valeur alimentaire, mais l'aspect et le goût du produit peuvent être modifiés à son désavantage.

Procédé Donard et Boulet. — L'appareil de MM. Donard et Boulet, déjà très répandu en France pour la dessiccation des divers résidus solides, notamment ceux provenant de la distillation des matières amylacées, repose sur un autre principe, celui de l'évaporation dans le vide, dont on connaît les avantages, qui consistent principalement à soustraire la matière à l'action directe des gaz du foyer et à obtenir une dessiccation plus rapide et une meilleure utilisation du combustible.

L'appareil se compose d'un cylindre horizontal en fonte de dimensions variables. Il repose sur deux paliers par deux tourillons creux qui permettent l'accès de la vapeur de chauffe et l'évacuation de la vapeur d'évaporation. La vapeur de chauffe va dans une série de tubes horizontaux, bouchés à l'autre extrémité et formant une vaste surface de chauffe avec dispositifs pour l'évacuation de l'eau de condensation. Le tourillon placé à l'autre extrémité du cylindre communique par un tube de fort diamètre avec une pompe à vide, à condenseur et à double effet, où se rend la vapeur d'évaporation. La matière divisée est introduite dans le cylindre ; l'évaporation commence à une température correspondant à la dépression de l'appareil (40 millimètres de mercure), dont la rotation lente amène le renouvellement constant des contacts avec la surface de chauffe. Des trous

d'homme permettent la charge et la vidange de l'appareil. M. Donard estime qu'avec son appareil à vide, on évapore 8 kilogr. d'eau pour 1 kilogr. de charbon.

M. Donard, qui a bien voulu, sur notre prière, étudier la question de la dessiccation des betteraves à l'aide de son appareil, estime que suivant l'importance de l'installation et en partant de betteraves donnant 20 % de cossettes sèches, les frais de dessiccation seraient de 3 fr. 50 à 4 fr. 50 par 100 kilogr. de produit sec obtenu. Mais, dans cette évaluation sont compris non seulement, comme dans le calcul précédent, la dessiccation proprement dite, mais aussi les dépenses de toute nature : lavage, découpage, main-d'œuvre, l'amortissement des appareils de tous genres et de tous les frais d'installation.

Procédé Lafeuille. — Plus récemment, et postérieurement aux études que nous exposons ici, M. Lafeuille a imaginé un appareil dont le principe est le suivant : les cossettes de betteraves tombant des coupe-racines sont chauffées brusquement par la chaleur du générateur de vapeur ; elles sont stérilisées pour ainsi dire et elles circulent ensuite sur une toile sans fin dont la longueur atteint 50 mètres, au-dessus des chambres par lesquelles elles reçoivent de forts courants d'air froid ; elles sortent à l'extrémité. Le principe nouveau consiste dans la stérilisation préalable des cossettes et dans la substitution d'un fort courant d'air à l'action directe de la chaleur. Ce procédé a reçu des applications et les produits obtenus par son emploi sont aujourd'hui sur le marché ; ils contiennent environ 15 % d'eau et sont dans un état de blancheur remarquable.

Nous n'insistons pas sur ces divers procédés ; quel que soit celui auquel on donne la préférence, on voit que la possibilité de transformer la betterave en cossettes sèches est acquise et il n'y a plus qu'à rechercher auquel il conviendra de donner la préférence, tant au point de vue du prix de revient que de la qualité des produits. Il est probable que des améliorations viendront abaisser sensiblement les frais de préparation et que la betterave sèche pourra entrer dans la consommation courante à des prix acceptables.

La dessiccation des betteraves n'est pas une simple vue théorique, mais bien une conception d'ordre pratique et susceptible de donner

des résultats économiques. Si la dessiccation des cossettes de diffusion n'a pas toujours réussi et même a dû être abandonnée chez nous, c'est qu'on partait de produits très aqueux pour arriver à un produit sec, de qualité assez médiocre et de faible valeur marchande. Avec la betterave, au contraire, on part d'une matière bien moins aqueuse pour aboutir à une denrée fourragère de valeur alimentaire et commerciale élevée, dont nous devons à présent étudier la composition, les propriétés et l'emploi.

Essais industriels. — C'est sur des betteraves riches, de sucrerie, que nos essais ont été faits. Ces betteraves desséchées ont été préparées à l'aide de l'appareil de MM. Donard et Boulet. Nous ne saurions trop remercier M. Donard de l'assistance intelligente et désintéressée qu'il a bien voulu nous donner. Les betteraves, débitées en cossettes, comme cela se pratique par le procédé de la diffusion, donnaient un produit qui se présentait sous la forme granulée et non pulvérulente, assez semblable à de gros grains de seigle ; il était d'un blanc grisâtre, d'une odeur fraîche et agréable ; cassant lorsqu'il sortait de l'évaporateur, et prenant une certaine élasticité au contact prolongé de l'air humide.

Lorsque la dessiccation est poussée suffisamment loin, c'est-à-dire que la proportion d'eau est comprise entre 12 à 13 °/₀, comme c'est le plus souvent le cas des graines alimentaires, le produit craque sous la dent des animaux ; ceux-ci l'acceptent bien plus volontiers. Lorsqu'au contraire la dessiccation est imparfaite, et qu'il y a encore 16 à 18 °/₀ d'eau, les cossettes sont souples et élastiques, elles s'agglomèrent en s'enchevêtrant et forment une masse assez difficile à diviser et à distribuer, que les chevaux acceptent moins volontiers et mâchent comme si c'était de l'étoupe.

Il est donc important que la dessiccation soit poussée suffisamment loin, tant pour la conservation du produit que pour l'appétence des animaux. Cette considération s'applique surtout au cheval ; elle a moins d'importance pour les autres animaux de la ferme, auxquels la betterave pourra être donnée après addition d'eau froide ou tiède, en une sorte de barbotage qui reconstituerait pour ainsi dire la betterave primitive avec tous ses éléments.

Conservation des betteraves sèches.

La conservation de ce produit est illimitée. On peut l'exposer au contact de l'air et en couche mince dans des locaux plus ou moins humides, sans qu'il y ait d'altération ou de développement de moisissures. La conservation et la manipulation en sont au moins aussi faciles que celles des grains : blé, avoine ou maïs. Le sucre, qui entre pour une si forte part dans la composition, joue certainement le rôle d'antiseptique. Il semblerait que sa présence doive communiquer à la matière une très grande hygroscopicité. L'expérience suivante montre que ce danger n'est point à redouter :

Sur des plateaux on étalait en couche mince la matière, après y avoir dosé l'eau, et on exposait un lot dans un endroit sec et un autre lot dans un endroit extrêmement humide ; on les pesait de temps en temps.

	ENDROIT	
	sec	humide
	grammes	grammes
Les betteraves pesaient à l'origine.	100	100
— — après huit jours . .	97,6	101
— — après trente jours. .	97,2	103

A l'origine, la betterave contenait 6,07 °/₀ d'eau ; ce produit très sec, placé pendant un mois dans un endroit très humide, n'a donc absorbé que de faibles quantités d'eau et n'a subi aucune altération.

C'est seulement lorsqu'on a placé la matière sous une cloche reposant sur l'eau, c'est-à-dire dans une atmosphère confinée et constamment saturée, que l'absorption d'eau a atteint au bout d'un mois le chiffre de 25 °/₀ ; à ce moment, des moisissures se sont produites à sa surface. Mais c'est là un cas tout à fait anormal et une graine quelconque se serait altérée tout autant et même plus rapidement.

Dans une autre expérience, nous avons placé dans une atmosphère normale, étalés en couche assez mince, un lot de betteraves séchées industriellement à 14 °/₀ d'eau et un autre lot des mêmes betteraves complètement séchées à 100°. En les pesant à intervalles rapprochés, nous avons constaté que le taux centésimal d'humidité dans le premier

lot subissait, dans un espace de plus de six mois, comprenant les températures et les états hygrométriques les plus divers, des variations insensibles de 13 à 15 °/₀. Les betteraves complètement sèches ont rapidement absorbé de l'eau ; elles se sont vite mises au taux moyen de 11,5 à 12 ; ensuite elles n'ont pas varié sensiblement plus que les précédentes.

La dessiccation qui, d'après cela, paraîtrait la plus convenable, doit être poussée jusqu'à un taux d'humidité de 12 à 13 °/₀. Un tel produit, dans les conditions ordinaires de la pratique, sera d'une conservation parfaite.

Composition.

Les cossettes desséchées que nous avons obtenues à l'aide de l'appareil Donard et Boulet avaient la composition centésimale suivante :

Densité (poids du litre)	0^{kg},616
Eau	13 ,00
Matières azotées totales, calculées en albuminoïdes	6 ,58
Matières azotées albuminoïdes réelles	4 ,24
Saccharose	63 ,70
Glucose	traces.
Corps pectiques	3^{kg},36
Pentosanes	6 ,23
Cellulose	4 ,53
Matières solubles dans l'éther	0 ,26
Matières minérales (acide carbonique déduit)	3 ,65
Acide phosphorique	0 ,37

Nous avons donc réalisé le problème que nous nous étions proposé, celui d'obtenir industriellement un fourrage très sucré. Ce sucre n'a subi, du fait de la dessiccation, aucune inversion ; c'est bien du sucre cristallisable, du sucre de canne véritable qui existe en si forte proportion dans notre produit.

A côté de ce sucre, nous trouvons, parmi les éléments hydrocarbonés, une proportion assez élevée de corps pectiques proprement dits, susceptibles de se transformer en acide pectique sous l'influence des alcalis et dont nous avons, dans nos multiples expériences, reconnu l'utilisation intégrale par l'organisme.

Des pentosanes s'y trouvent en quantités notables; elles ont été déterminées d'après la proportion de furfurol qu'elles fournissent sous l'influence de l'acide chlorhydrique, mais en défalquant du résultat le furfurol afférent aux corps pectiques dosés directement. Nous avons en effet observé, ainsi que M. Bourquelot et d'autres savants, que les corps pectiques appartiennent à la catégorie des hexopentosanes; c'est là un fait dont on doit, sous peine d'erreur, tenir compte dans les analyses. Ces pentosanes fournissent un appoint à l'alimentation, mais on sait qu'elles ne sont utilisées qu'en faible partie.

Il en est de même de la cellulose; la faible proportion que contient ce produit est un fait tout à l'avantage de sa valeur alimentaire; car on sait que l'abondance de cet élément vient diluer pour ainsi dire les principes utiles d'un fourrage, et classe celui-ci dans la catégorie des produits ligneux et peu digestibles.

Quant aux matières azotées, elles sont en proportions moins élevées dans la betterave desséchée que dans les graines, et, en outre, les deux tiers seulement de l'azote se trouvent à l'état albuminoïde; l'autre tiers est constitué par des traces de nitrates et par des produits amidés tels que l'asparagine, qui doivent être considérés comme aliments carbonés et non comme aliments azotés.

Depuis nos premières études, ainsi que nous l'avons dit plus haut, l'industrie de la fabrication des cossettes s'est établie en diverses localités, et nous avons pu examiner des produits fabriqués récemment (récolte de 1903) dans deux usines différentes :

	I — °/°	II — °/°
Eau	14,50	10,00
Matières azotées totales calculées en albuminoïdes	6,19	6,07
Matières azotées albuminoïdes réelles	3,06	3,94
Saccharose	54,20	58,06
Glucose	2,70	2,42
Cellulose	4,20	4,14
Matières minérales	4,80	4,64
Matières solubles dans l'éther	0,13	0,22
Matières ternaires diverses	23,28	14,45

En somme, prise dans son ensemble, la composition des betteraves à sucre desséchées rapproche celles-ci des grains tels que seigle, orge,

avoine, maïs, blé, avec une richesse en matières azotées moindre, mais avec une richesse en matériaux hydrocarbonés plutôt supérieure et avec cette différence que l'amidon est remplacé par du saccharose. Nous avons, au début, assez longuement insisté sur la haute valeur des sucres, au point de vue de la production de la force et de la graisse, pour n'avoir pas, ici, à y revenir.

En tenant compte des observations qui précèdent, nous nous croyons autorisés à attribuer aux cossettes de betteraves desséchées une valeur alimentaire et par conséquent commerciale peu différente de celle des grains utilisés dans l'alimentation des animaux domestiques et dont l'avoine est le type.

Si, comme cela semble ressortir de nos expériences industrielles, la betterave desséchée peut être obtenue à un prix oscillant autour de 14 fr. les 100 kilogr., ce produit pourra entrer dans la pratique courante en substitution à poids égal d'une plus ou moins grande quantité de la ration de graines. Ce serait là, dans la plus large acception du mot, l'utilisation du sucre dans l'alimentation des animaux; elle se ferait sans augmentation du prix de la ration. La betterave ainsi desséchée remplacerait très avantageusement les fourrages dits mélassés qui jouissent d'une si grande faveur dequis quelques années. L'alimentation sucrée ne serait plus ainsi limitée à l'existence d'un stock plus ou moins important (et toujours variable) de la mélasse, déchet de l'industrie sucrière. Elle pourrait s'étendre autant que l'on voudrait, par la mise en culture des sols dont la vraie destination serait la production betteravière. Ces betteraves desséchées, d'ailleurs, auraient sur les aliments mélassés d'autres avantages : elles sont bien plus riches en matière sucrée et la composition peut être rendue sensiblement constante. Elles ne sont pas comme les aliments mélassés, mélangées de substances souvent inertes en proportions variables et ordinairement élevées ; les matières qui accompagnent le sucre dans la betterave ne sont pas simplement des excipients, mais de véritables aliments dont la valeur s'ajoute à celle du sucre. C'est donc un aliment naturel que l'acheteur pourra se procurer avec plus de sécurité que ces mélanges faits artificiellement, dans lesquels l'élément utile peut varier entre des limites très écartées.

Expériences d'alimentation.

Toutes les considérations qui précèdent sont basées sur l'étude chimique de la betterave et des produits qu'elle fournit par la dessiccation. Mais, lorsqu'il s'agit d'examiner la valeur d'une denrée alimentaire, il ne faut pas se rapporter exclusivement à l'analyse chimique ; il faut encore voir comment elle est acceptée par les animaux et utilisée par leur organisme.

Nous avons donc institué, au commencement de l'année 1899, des expériences, en vue de l'introduction des betteraves desséchées dans la ration des chevaux. Nous avons opéré sur huit animaux de la compagnie des omnibus, faisant le service habituel de la traction. Nous avons d'abord essayé si les animaux acceptaient les cossettes sèches en mélange avec des grains : le premier jour, ils les ont refusées comme le font toujours les chevaux quand on leur présente une denrée à laquelle ils ne sont pas habitués ; le second jour, ils ont commencé à les accepter ; le troisième, tous les acceptaient sans difficulté ; le quatrième, ils mangeaient les cossettes avec avidité, même lorsqu'on les leur présentait sans mélange.

Étant ainsi assurés de pouvoir faire consommer facilement ce produit, nous avons institué les expériences suivantes :

Quatre chevaux, pris comme témoins, recevaient la ration habituelle, soit :

Maïs, avoine, féveroles mélangés.	9 kilogr.
Foin et paille hachés et mélangés.	4 —

Les quatre autres recevaient :

Grains mélangés.	8kg,000
Betteraves desséchées.	0 ,900
Féveroles.	0 ,100
Soit au total.	9kg,000
Mélange de fourrages hachés.	4 ,000

La betterave était donnée en deux repas, mélangée avec les grains

Ces rations ont été maintenues du 9 au 16 janvier. Les animaux pesaient :

	CHEVAUX à la ration ordinaire	
	le 9 janvier	le 16 janvier
	kilogr.	kilogr.
Numéro 1	530	520
— 2	557	551
— 3	568	560
— 4	624	616
Total	2 279	2 247
Diminution	32	

	CHEVAUX recevant de la betterave séchée	
	le 9 janvier	le 16 janvier
	kilogr.	kilogr.
Numéro 5	511	521
— 6	509	498
— 7	519	512
— 8	499	501
Total	2 038	2 032
Diminution	6	

Nous voyons dans cette première période un petit fléchissement du poids des animaux, dû probablement à la rigueur de la température, mais les chevaux à la betterave paraissent s'être mieux maintenus que les autres.

Du 16 au 23 janvier, la proportion de betteraves introduites dans la ration a été doublée et la ration s'est trouvée constituée de la façon suivante :

Mélange de grains	7kg,000
Betteraves desséchées	1 ,800
Féveroles	0 ,200
Total	9kg,000
Foin et paille hachés	4 ,000

Le 23 janvier, après huit jours de ce nouveau régime, les poids des animaux ont été les suivants :

	CHEVAUX à la ration ordinaire
Numéro 1.	512 kilogr.
— 2.	555 —
— 3.	565 —
— 4.	614 —
Poids total.	2 246 —
Poids total au début.	2 247 —
Diminution	1 —

	CHEVAUX recevant la betterave desséchée
Numéro 5.	520 kilogr.
— 6.	498 —
— 7.	527 —
— 8.	507 —
Poids total.	2 052 —
Poids total au début	2 032 —
Augmentation	20 —

Ces derniers ont donc gagné du poids, tandis que les autres se sont maintenus stationnaires.

Du 23 au 30 janvier, on a de nouveau augmenté la proportion de betteraves et la ration a été la suivante :

Mélange de grains.	6kg,000
Betteraves desséchées	2 ,700
Féveroles	0 ,300
Total	9kg,000
Fourrages hachés.	4 ,000

Les poids des animaux ont été les suivants :

	RATION ORDINAIRE
Numéro 1.	514 kilogr.
— 2.	548 —
— 3.	562 —
— 4.	616 —
Poids total.	2 240 —
Poids total au début.	2 246 —
Diminution.	6 —

	RATION À LA BETTERAVE
Numéro 5	523 kilogr.
— 6	497 —
— 7	522 —
— 8	512 —
Poids total	2 054 —
Poids total au début	2 052 —
Augmentation	2 —

Les animaux à la betterave ont donc continué à se mieux maintenir que les autres.

En résumé, pendant une période de vingt et un jours, les deux lots de chevaux ont fait le même travail, l'un à la ration ordinaire, l'autre recevant des proportions de betteraves variant de 0kg,900 à 2kg,700 en substitution à poids égal de grains :

Le lot à la ration ordinaire pesait au début	2 279 kilogr.
— — à la fin	2 240 —
Soit une diminution de	39 —

correspondant à 9kg,7 par cheval.

Le lot à la betterave pesait au début	2 038 kilogr.
— — à la fin	2 054 —
Soit une augmentation de	16 —

correspondant à 4 kilogr. par cheval.

A partir du 30 janvier et jusqu'au 6 février, deux chevaux seulement, les numéros 7 et 8, ont continué à recevoir de la betterave et la ration a été la suivante :

Mélange de grains	5kg,000
Betteraves	3 ,600
Féveroles	0 ,400
Total	9kg,000
Fourrages hachés	4 ,000

Tous les autres chevaux, y compris les numéros 5 et 6, ont reçu la

ration ordinaire de 9 kilogr. de grains mélangés. Le 6 février, les poids ont été les suivants :

	CHEVAUX à la ration ordinaire
Numéro 1.	519 kilogr.
— 2.	555 —
— 3.	557 —
— 4.	613 —
Poids total	2 244 —
Poids au début.	2 240 —

Augmentation par cheval : 1 kilogr.

	CHEVAUX à la betterave
Numéro 7.	522 kilogr.
— 8.	516 —
Poids total.	1 038 —
Poids au début.	1 034 —

Augmentation par cheval : 2 kilogr.

Les chevaux 5 et 6 qui avaient été nourris à la betterave ont été remis pendant ce temps à la ration habituelle ;

Ils pesaient	1 030 kilogr.
Après huit jours de cette ration. .	1 012 —

Ils ont donc perdu du poids, tandis que les numéros 7 et 8, qui continuaient le régime à la betterave, en gagnaient.

On voit donc que, même lorsque la betterave est entrée pour près de moitié dans la ration de grains, les chevaux qui la consommaient se sont bien maintenus ; ils ont gagné du poids par rapport à ceux qui étaient à la ration habituelle. Ils ont d'ailleurs effectué leur travail aussi bien que les chevaux qui recevaient cette dernière.

Nous avons cru devoir adjoindre à la betterave une quantité supplémentaire de féveroles, dans le but de maintenir la proportion de matières azotées. Ce scrupule nous semble aujourd'hui excessif, puisqu'il a été reconnu que le rapport des matières azotées aux matières hydrocarbonées pouvait varier dans des limites beaucoup plus larges

qu'on ne l'avait pensé jusqu'ici. C'est ainsi que, depuis que ces recherches ont été effectuées, MM. Grandeau et Alekan ont réussi à introduire dans l'alimentation de grandes quantités de sucre, sans avoir à augmenter dans le même rapport les matières albuminoïdes.

Si nous calculons les quantités de sucre introduites dans les rations de nos chevaux par la betterave sèche, nous voyons que :

Dans la 1re semaine, elle était de.	573 grammes
— 2e — —	1 146 —
— 3e — —	1 719 —
— 4e — —	2 292 —

Cette dernière dose, qui est acceptée très volontiers par les animaux et qui correspond à environ 18 kilogr. de betteraves fraîches, n'a pas eu d'influence défavorable sur les animaux ; elle n'a provoqué ni diarrhée, ni polyurie, ni aucun accident visible. Or, pour fournir la même dose de sucre réel, il eût fallu donner à peu près 5 kilogr. de mélasse verte, soit environ 10 kilogr. par 1 000 kilogr. de poids vif, et l'on sait que cette dose dépasse certainement la limite de tolérance de l'organisme animal qui, le porc excepté, supporte difficilement une dose moitié moindre.

La facilité avec laquelle les chevaux ont accepté ces betteraves sèches fait penser qu'on aurait pu en forcer notablement la dose et peut-être les substituer complètement aux grains dans la ration. Les essais devront être poursuivis dans ce sens, et il y aura lieu d'examiner si l'adjonction de graines très azotées comme la féverole est véritablement nécessaire. Les expériences de M. Grandeau sur l'introduction du sucre brut dans la ration des chevaux font penser que l'on pourrait, sans inconvénients, arriver à l'alimentation exclusive aux cossettes de betteraves. Une ration de 9 kilogr. pour des chevaux d'un poids d'environ 500 kilogr. contiendrait 382 grammes de matières azotées albuminoïdes et 5kg,670 de sucre. Le sucre formerait donc la partie de beaucoup la plus importante des aliments carbonés ainsi consommés.

La betterave sèche nous paraît donc être l'aliment qui permet les plus fortes introductions de sucre dans les rations animales.

Conclusions.

Les recherches qui précèdent montrent, en résumé, qu'il est possible d'introduire avantageusement la betterave desséchée dans l'alimentation du cheval, qui est un des animaux domestiques les plus difficiles à nourrir. Les autres animaux accepteront au moins aussi volontiers et profiteront au moins autant de l'introduction de cette denrée dans leur ration. La possibilité de faire consommer la betterave desséchée nous porte à envisager la question de sa préparation et de son utilisation, en nous plaçant au point de vue économique.

La culture de la betterave est une de celles qu'il y a le plus d'intérêt à développer et qui donne les résultats les plus fructueux, lorsque l'écoulement des produits est possible. Mais elle est jusqu'ici limitée par les besoins de la sucrerie et de la distillerie, et la consommation de la betterave par ces deux industries est loin de répondre à la production qu'il serait possible d'obtenir. Créer pour la betterave un nouveau débouché, c'est développer une culture qui a été de tout temps regardée comme rémunératrice et comme un élément de progrès agricole. Le produit obtenu par cette industrie viendrait concurrencer sur les marchés français les grains étrangers destinés à l'alimentation des animaux, notamment le maïs et l'avoine que l'agriculture indigène ne produit pas en quantité suffisante pour les besoins de la France.

En nous plaçant au point de vue exclusivement agricole, qui consiste à tirer d'une même surface de terrain la plus grande somme de matériaux utiles et aussi la plus grande valeur en argent, nous pouvons comparer, pour des sols et des régions identiques, la culture de la betterave à celle d'autres récoltes destinées à l'alimentation des animaux.

N'envisageons que la betterave de distillerie, c'est-à-dire la betterave demi-sucrière dont, par des considérations exposées plus haut, nous regardons la culture comme la plus avantageuse au point de vue où nous nous plaçons. Avec la production moyenne d'environ 42 500 kilogr. par hectare, à 11,5 °/ₒ de sucre, de pareilles betteraves donnent 8 000 kilogr. de cossettes sèches à 13 °/ₒ d'eau.

Cette production est comparable en poids à celle des très bonnes prairies naturelles et artificielles. Mais, comme valeur alimentaire, la supériorité est très grande, car les cossettes de betteraves ont un coefficient de digestibilité beaucoup plus élevé que les foins de graminées et de légumineuses ; en particulier, le sucre, qui forme près des deux tiers du poids des cossettes, est utilisé intégralement par l'organisme animal, alors que les matières ternaires des foins ne sont guère utilisées que dans la proportion de 50 % environ.

Par la culture de la betterave, nous arrivons donc à obtenir une plus grande somme de matériaux alimentaires réellement utiles, que par celles des prairies permanentes ou temporaires.

Si nous comparons la culture de ces betteraves à celle des grains et particulièrement à celle de l'avoine, nous constatons une supériorité encore plus grande de la production. En effet, si l'avoine donne 40 hectolitres à l'hectare, soit 2 000 kilogr. de grains, elle est loin d'atteindre la productivité de la betterave, qui donne environ quatre fois plus de produit avec une valeur alimentaire qui, si elle n'est pas tout à fait égale, s'en rapproche cependant beaucoup.

Au point de vue de la nutrition des animaux du territoire français, le développement de la culture des betteraves, dans le but de fabriquer des cossettes sèches, présenterait donc des avantages considérables.

Nous n'avons pas la pensée de conseiller la substitution de la betterave aux prairies et aux grains, qui doivent garder leur place dans l'exploitation du sol ; nous avons voulu montrer qu'on pourrait, non seulement sauvegarder, mais encore développer la culture de la betterave, dont les avantages au point vue agricole et économique sont si frappants.

L'agriculture est en situation de produire la betterave dans les conditions que nous avons envisagées. Quant à l'industrie des cossettes sèches, elle nous semble pouvoir être réalisée facilement, car les procédés de dessiccation ne manquent pas. Il en existe pour les différents déchets d'industrie, tels que les déchets qui ont une valeur alimentaire et vénale très faible.

En s'inspirant des procédés qui existent et en les adaptant au cas spécial de la betterave, on arrivera certainement à des résultats pra-

tiques qui permettront la préparation, sur une grande échelle, des cossettes de betteraves pouvant être transportées, conservées et distribuées aux animaux, comme le sont les aliments concentrés, tels que les grains.

Si l'industrie s'adresse aux procédés de dessiccation les moins onéreux, si, d'autre part, elle ne prélève pas un bénéfice excessif sur cette fabrication, il y a lieu de penser que la question de l'alimentation sucrée se trouvera résolue au plus grand profit de la production agricole et de l'alimentation des animaux.

Nous serions heureux de voir ainsi se réaliser pratiquement les idées que nous avons émises dès 1894, et se développer une industrie dont nos essais de fabrication et d'utilisation nous ont fait, en 1899, présager l'avenir.

LE PROLONGEMENT

CHEZ LE SUJET ALIMENTÉ

DU PROCESSUS DE DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE

DE L'ÉTAT D'INANITION

D'APRÈS LES ÉCHANGES RESPIRATOIRES

PENDANT LE TRAVAIL

PAR

M. A. CHAUVEAU

L'animal en état d'inanition puise dans les réserves alimentaires, antérieurement incorporées aux tissus et aux humeurs de l'organisme, le potentiel nécessaire à l'exécution des travaux physiologiques et à l'entretien de la chaleur animale. C'est là une proposition que personne ne saurait songer à contester. Le sujet non alimenté se procure sûrement l'énergie qu'il doit consommer pour vivre en brûlant ses principes albuminoïdes et ses réserves graisseuses : celles-ci, complètement; ceux-là, jusqu'à l'urée. Je ne dis rien de la faible réserve glycogénique, qui persiste longtemps dans l'inanition prolongée, mais qui persiste parce qu'elle est un produit de passage de l'oxydation incessante des albuminoïdes et des graisses, de ces dernières particulièrement.

Mais on n'est pas aussi bien renseigné sur ce qui se passe chez le sujet plus ou moins largement alimenté. Le potentiel alimentaire directement fourni par l'absorption intestinale se substitue-t-il pure-

ment et simplement au potentiel déjà incorporé à l'organisme? Ou bien le premier a-t-il pour destination immédiate de remplacer le dernier, au fur et à mesure de sa consommation, qui continuerait à s'effectuer par un processus, sinon identique, au moins très analogue à celui de l'inanition?

Dans mon Mémoire sur *La Vie et l'énergie chez l'animal*, j'ai exposé les principales raisons favorables à cette dernière hypothèse, qui se confond avec celle de la permanence du renouvellement de la matière dans l'organisme animal. Je ne donne, il est vrai, aucune preuve directe de l'exactitude de cette hypothèse, mais j'en montre la vraisemblance. Par exemple, le travail de la contraction musculaire, qui est, et de beaucoup, le plus important des travaux physiologiques, s'effectue, pendant l'inanition, aux dépens du potentiel accumulé dans le tissu des muscles sous forme de glycogène. Et cependant ce potentiel glycogénique, malgré sa faible quantité, reste de longs jours sans donner signe d'usure bien sensible. C'est qu'il est incessamment renouvelé, comme je le rappelais plus haut, grâce aux phénomènes métaboliques qui se passent dans les principes gras et albuminoïdes de l'organisme. Or, on ne saurait prouver que, chez le sujet abondamment nourri, même en hydrate de carbone, ce n'est plus ce glycogène musculaire qui se consomme dans le travail. Et il n'y a aucun motif de supposer que son remplacement ne résulte pas des mêmes phénomènes métaboliques que dans l'inanition. Seulement, à côté des albuminoïdes et des graisses de l'organisme il y a en plus, pour pourvoir à ce remplacement, les principes protéiques, gras et même hydrocarbonés introduits par l'absorption digestive dans le torrent circulatoire.

D'une manière générale, rien ne s'oppose à ce que toutes les dépenses énergétiques entraînées par les travaux physiologiques ne portent exclusivement sur les substances albuminoïdes, grasses ou hydrocarbonées déjà incorporées aux éléments propres de l'organisme. D'autre part, rien ne s'oppose davantage à ce qu'on attribue, pour destination directe, aux substances alibiles qui proviennent immédiatement du travail digestif, le rôle de remplacement dont il vient d'être question.

Bien entendu, il ne saurait être question ici que des substances

alimentaires ou nutritives proprement dites, c'est-à-dire celles qui sont aptes à constituer les tissus ou les réserves ternaires de potentiel dans l'économie animale, autrement dit les substances protéiques, les graisses et les hydrates de carbone. Quant aux substances impropres à cet usage, celles qu'on regarde comme aliments d'épargne, l'alcool par exemple, elles sont condamnées au contraire à la combustion immédiate qui en permet et en active l'élimination.

Oui ou non, le processus de dépense énergétique de l'état d'inanition se continue-t-il plus ou moins chez le sujet abondamment alimenté en substances nutritives vraies? Peut-on se procurer sur cette question des démonstrations décisives, soit pour l'affirmative, soit contre? D'aucuns affirment que la chose est impossible. Néanmoins, comme une solution nette importe au plus haut degré à l'étude d'un certain nombre des difficiles problèmes qui se posent en énergétique biologique, j'ai cru devoir chercher cette solution nette.

Il m'a paru qu'elle pourrait être obtenue d'une étude méthodique des échanges respiratoires, de l'absorption de l'oxygène en particulier, dans le cas de nourriture avec des aliments de diverse nature.

Si l'on cherchait à comparer les échanges respiratoires chez un sujet nourri de viande et de graisse en certaine proportion, avec ceux du même sujet à l'inanition, il serait certainement tout à fait impossible de trouver, dans cette comparaison, le moyen de s'assurer que le processus de dépense énergétique de l'inanition se continue dans les périodes d'alimentation. En effet, que le sujet vive sur ses propres albuminoïdes et ses réserves graisseuses, ou qu'il consomme directement l'albumine et les substances grasses que la digestion et l'absorption intestinale viennent d'introduire dans le torrent circulatoire, c'est toujours le même potentiel qui est offert à l'action comburante de l'oxygène. Il n'y a par conséquent aucune raison de trouver, dans les échanges respiratoires, de vrais caractères différentiels, propres à montrer si l'oxygène s'est attaqué, chez le sujet alimenté, au potentiel préexistant ou à celui qui vient d'être apporté par l'alimentation.

Mais la distinction pourrait être possible si l'on comparait ladite ration de viande et de graisse avec une autre ration équivalente dont la combustion, comme potentiel énergétique, n'exigerait pas une

consommation identique d'oxygène. Or, c'est justement le cas d'une ration dans laquelle les hydrates de carbone interviennent abondamment. Même en identifiant le pouvoir trophique du sucre de canne avec son pouvoir thermogène et en comparant deux rations dans lesquelles le sucre et la graisse se substituent en proportions isodynames, il se trouve que la ration où existe celle-ci consomme théoriquement plus d'oxygène que l'autre. Il semble donc qu'en comparant la consommation théorique d'oxygène avec la consommation réelle, dans la journée de vingt-quatre heures, on doive arriver aisément à voir si cette consommation réelle, dans le cas de ration-sucre, implique ou non l'intervention d'une combustion graisseuse, témoin du prolongement du processus de dépense énergétique de l'inanition.

Malheureusement, une telle comparaison, pour être sûrement exacte, exige des conditions d'une réalisation bien difficile : entre autres, un parfait équilibre de l'entretien chez le sujet d'expérience. Si le poids s'accroît ou diminue, même d'une quantité minime, on peut toujours mettre sur le compte d'un emmagasinement partiel de la ration, ou d'une dépense suppléante des réserves graisseuses préexistantes, les différences constatées entre la consommation théorique et la consommation réelle d'oxygène. Or, ces oscillations de poids sont fréquentes au cours d'une expérience de cette nature. Elles tiennent, en effet, aux différences journalières des excrétions fécale, urinaire et perspiratoire. Il est vrai qu'on pourrait parer à cet inconvénient en prolongeant les comparaisons pendant de longues périodes et en tablant sur une bonne moyenne. Mais alors, ces comparaisons deviennent extrêmement laborieuses et absorbantes, sans compter qu'on s'expose davantage aux accidents de santé qui peuvent entraver l'expérience et en faire perdre le fruit.

Mais il y a moyen d'arriver au résultat cherché en échappant à toutes ces difficultés.

Quand on fait travailler un sujet d'expérience, il se produit une surconsommation considérable de potentiel et d'oxygène, surconsommation qui est toujours proportionnelle à l'activité du travail. Que l'animal soit à jeun ou en digestion d'un abondant repas de viande et de graisse ou de viande et de sucre, cette surconsommation ne

manque jamais de se manifester. Or, on peut faire intervenir le travail au moment où la digestion, battant son plein, introduit en abondance dans le torrent circulatoire les albuminoïdes de la ration et ses principes ternaires, en particulier les matières sucrées, dont l'absorption s'effectue avec une très grande rapidité. A ce moment, la saturation du sang par les principes assimilables de la ration n'est guère influencée par l'abondance de celle-ci. Que cette ration soit en léger excès ou en léger déficit, par rapport aux besoins des travaux physiologiques de la journée entière, la saturation alimentaire du sang n'en reste pas moins à un degré élevé, très sensiblement le même, pendant la période relativement courte de l'exercice musculaire. Le muscle trouve donc à tout instant dans le sang qui l'imprègne, au cas d'alimentation sucrée, la quantité d'hydrate de carbone nécessaire à ses besoins. S'ils utilisent exclusivement la matière glycosique en provenance du travail digestif, si les graisses incorporées ne concourent en rien à cette consommation, si, en un mot, le processus de dépense énergétique de l'inanition a cédé complètement la place au processus nouveau, c'est ce qu'il sera facile de voir aux quotients respiratoires et surtout à la dépense absolue d'oxygène qui sera effectuée pendant le travail musculaire, en comparaison avec celle de l'état d'inanition ou de la nourriture avec la ration-viande-graisse.

Il est inutile de s'étendre davantage sur cette discussion préalable. Avec les exemples qui vont être donnés, elle s'éclaircira singulièrement.

Expérience.

Parmi les expériences de longue haleine poursuivies, dans mon laboratoire, sur l'énergétique biologique, avec le concours de MM. Contejean et Tissot d'abord, puis avec celui de M. Tissot seul, il s'en trouve quelques-unes qui se prêtent fort bien aux comparaisons ci-dessus indiquées sur la consommation de l'oxygène pendant le travail.

J'en choisis une série qui s'est étendue sur une période de dix-huit jours, du 15 juin au 10 juillet 1898.

Le sujet est un des chiens qui avaient servi aux expériences antérieurement publiées sur la comparaison du pouvoir nutritif de la graisse et du sucre.

On se proposait de déterminer, chez cet animal, la quantité d'oxygène qu'il consomme au cours des diverses périodes de la journée de vingt-quatre heures, dans des conditions variées de régime et de repos ou de travail.

Cette recherche a été réalisée en faisant vivre et travailler l'animal dans l'air confiné d'une caisse discoïde, hermétiquement close, animée, quand on voulait faire travailler le sujet, d'un mouvement rotatoire que celui-ci était obligé de suivre en trottant sur la paroi circonférentielle de l'appareil. Je renvoie à une autre occasion la description complète de cet appareil, qui est disposé, en outre, pour servir de calorimètre à rayonnement.

Je dirai seulement que, malgré son étanchéité, on l'a mis à l'abri de toute possibilité de fuite (condition indispensable à la détermination exacte de l'oxygène absorbé par l'animal) au moyen d'un gazomètre dérivateur et compensateur, construit d'après les indications de M. Tissot. Grâce à l'exquise sensibilité de cet instrument (il obéit à des changements de pression de 1 vingtième de millimètre d'eau), la pression dans la caisse est toujours parfaitement égale à la pression atmosphérique, en sorte que l'intérieur de cette caisse ne peut être l'objet d'aucun appel ni d'aucune expulsion d'air. Donc la capacité de l'appareil étant connue, ainsi que la composition du contenu, au commencement et à la fin de chaque séjour du sujet, la quantité d'oxygène consommée par ce sujet pouvait être calculée avec une précision ne laissant rien à désirer, égalant en tout cas celle de la détermination de l'acide carbonique exhalé.

On avait pensé tout d'abord à multiplier les séjours, en en raccourcissant la durée pour éviter une trop grande viciation de l'air confiné dans lequel vivait l'animal (la caisse avait à peine 2 mètres cubes de capacité). Mais les expériences devenant alors trop absorbantes pour le personnel restreint qui m'assiste, j'ai dû prolonger les séjours en coupant en quatre parties seulement, très inégales du reste, la journée de vingt-quatre heures. Inaugurée d'abord à titre d'essai, cette manière de faire a été ensuite continuée systématique-

ment, étant donnés les premiers résultats obtenus. J'ai vu, en effet, à ma grande surprise tout d'abord, que l'animal paraissait s'accommoder très bien d'un milieu aérien extraordinairement riche en acide carbonique (4 °/₀), non seulement quand le sujet était au repos, mais encore lorsqu'on le forçait à travailler avec une grande activité.

Ce ne sont pas là des conditions à recommander. Je me garderais de le faire. Mais, dans le cas de mes expériences comparatives, comme ces conditions les affectaient toutes également, elles ne pouvaient empêcher l'obtention de résultats justes.

Je me hâte d'ajouter, du reste, que je n'ai aucune raison d'incriminer ces conditions en apparence défectueuses. En effet, la santé du sujet est restée absolument parfaite, au cours de toutes les expériences. A peine constatait-on un peu d'anhélation au sortir de la caisse, quand son atmosphère avait été exceptionnellement viciée.

Naturellement après chaque période de séjour dans la caisse, l'air était soigneusement renouvelé à l'intérieur de celle-ci.

Voici la succession et la durée des quatre périodes quotidiennes :

I. — *Première période :* le matin après le repas et avant le travail. Durée moyenne : une heure.

II. — *Deuxième période :* pendant le travail. Durée moyenne : deux heures.

III. — *Troisième période :* après le travail, jusqu'à la nuit. Durée moyenne : huit heures.

IV. — *Quatrième période :* pendant la nuit. Durée moyenne : douze heures.

On se procurait ainsi, d'une manière effective, la consommation en oxygène de vingt-trois heures sur vingt-quatre. Il ne restait à calculer cette consommation que pour une heure environ, durée totale des quatre intervalles compris entre les périodes de séjour dans la caisse. Or, les plus longs ont toujours été ceux qui sont compris entre les périodes III et IV et surtout entre les périodes IV et I. Donc, il était parfaitement légitime de calculer la consommation en O^2, pour nos courtes périodes intercalaires, d'après la consommation effective des périodes III et IV. C'est ce que j'ai fait.

Dans les tableaux qui résument les résultats obtenus, nous indiquerons par *a* le temps occupé par ces quatre périodes interca-

laires ; *b* désignera la somme de toutes les périodes, c'est-à-dire la journée complète de vingt-quatre heures.

Je n'ai pas besoin de dire que les plus grandes précautions ont été prises pour assurer, en chaque cas, la parfaite homogénéité de l'air confiné sur lequel on prélevait les échantillons à analyser.

Le sujet ne recevait qu'un seul repas, le matin, à sa sortie de la caisse, après la période nocturne et la pesée destinée à s'assurer de l'état d'entretien.

Dans ces expériences, on s'est surtout attaché à comparer l'influence de l'addition d'une certaine quantité de graisse ou de sucre à une ration fondamentale de viande. L'animal a donc reçu, dans une série d'expériences, 500 grammes de viande et 110 grammes de saindoux; dans une autre série, 500 grammes de viande et 168 grammes de sucre de canne raffiné. D'après ce qui s'était passé sur ce même animal, dans des expériences antérieures, on supposait que ces deux rations l'entretiendraient bien — et également bien — l'une et l'autre. On verra que cette prévision ne s'est pas tout à fait réalisée. Le sujet a perdu de son poids. Mais le déchet observé n'a eu qu'une faible importance, surtout avec la ration-viande-sucre. J'ai expliqué pourquoi il doit être négligé dans la recherche spéciale qui est poursuivie ici.

J'en aurai fini avec l'indication de toutes les conditions expérimentales, quand j'aurai dit que le travail a consisté, tantôt dans une marche au trot de 11 760 mètres à l'intérieur de la roue (1 950 tours); tantôt dans une marche au trot de 15 620 mètres (2 590 tours).

Outre les expériences principales, celles qui ont été consacrées à l'étude de l'influence du travail sur la consommation de l'oxygène, quand il y a substitution réciproque de la graisse et du sucre dans la ration, il s'en est trouvé d'autres dans lesquelles le sujet n'a pas travaillé, d'autres encore où il a été soumis au régime exclusif de la viande ou à celui de l'inanition. Quoique ces expériences n'importent pas à la solution de la question que je cherche à résoudre en ce moment, elles n'y sont cependant pas complètement étrangères. Je les comprendrai donc dans les tableaux d'ensemble des résultats que j'ai à faire connaître. Ce sont là, du reste, des documents laborieusement acquis, incontestablement utiles, méritant d'être signalés.

TABLEAU A

Échanges respiratoires de vingt-quatre heures dans le cas de *travail*.
***Graisse* dans la ration.**

RÉGIME	NUMÉROS d'ordre — DATE — INTENSITÉ du travail	NUMÉROS des périodes de chaque expérience	DURÉE des périodes (division décimale de l'heure)	ÉCHANGES respiratoires dans chaque période		COEFFICIENTS respiratoires à l'heure et au kilogr.		ENTRETIEN du sujet	
				CO^2 exhalé	O^2 absorbé	CO^2 exhalé	O^2 absorbé	Poids au début et à la fin de chaque journée	Gain ou perte
			Heures.	Litres.	Litres.	Litres.	Litres.	Kilogr.	Grammes
Viande : 500 gr.	N° 3	I	0,867	8,196	11,201	0,448	0,613	21,090	
	—	II	1,633	67,811	93,040	1,969	2,701		
	18 juin 1898	III	8,650	74,096	97,915	0,406	0,537		
Saindoux : 110 gr.	—	IV	11,667	79,650	104,872	0,324	0,409	21,095	+ 5
	1 950 tours	*a*	1,183	8,952	11,809	»	»		
		b	24 »	238,705	318,867	0,477	0,638		
Idem.	N° 5	I	1,188	8,848	11,760	0,359	0,477	20,860	
	—	II	1,650	62,063	84,218	1,803	2,447		
	24 juin	III	8,417	74,110	98,451	0,422	0,561		
	—	IV	11,500	75,400	104,095	0,314	0,434	20,590	— 270
	1 950 tours	*a*	1,250	9,383	12,712	»	»		
		b	24 »	229,804	311,236	0,461	0,629		
Idem.	N° 6	I	0,850	9,420	12,500	0,538	0,714	20,590	
	—	II	2,200	86,360	117,492	1,906	2,594		
	25 juin	III	8,350	79,924	97,216	0,465	0,565		
	—	IV	11,667	80,335	101,275	0,334	0,421	20,375	— 215
	2 590 tours	*a*	0,933	7,470	9,252	»	»		
		b	24 »	263,509	337,785	0,539	0,691		
Idem.	N° 7	I	0,833	7,312	1,063	0,431	0,593	20,375	
	—	II	2,083	79,280	111,954	1,868	2,638		
	26 juin	III	8,033	70,431	90,421	0,430	0,552		
	—	IV	11,808	78,618	96,783	0,305	0,401	20,380	+ 5
	2 590 tours	*a*	1,218	8,882	11,478	»	»		
		b	24 »	239,476	320,702	0,493	0,657		

TABLEAU A'

Échanges respiratoires de vingt-quatre heures dans le cas de *travail*. *Sucre* dans la ration.

RÉGIME	NUMÉROS d'ordre — DATE — INTENSITÉ du travail	NUMÉROS des périodes de chaque expérience	DURÉE des périodes (division décimale de l'heure)	ÉCHANGES respiratoires dans chaque période		COEFFICIENTS respiratoires à l'heure et au kilogr.		ENTRETIEN du sujet	
				CO^2 exhalé	O^2 absorbé	CO^2 exhalé	O^2 absorbé	Poids au début et à la fin de chaque journée	Gain ou perte
			Heures.	Litres.	Litres.	Litres.	Litres.	Kilogr.	Grammes
Viande :	N° 1	I	1,683	20,169	21,165	0,567	0,587	21,425	
500 gr.	—	II	1,750	78,497	92,664	2,094	2,471		
	15 juin	III	8,300	76,608	88,253	0,431	0,496		
	1898	IV	11,500	72,338	89,858	0,291	0,365	21,210	— 185
Sucre :	—	*a*	0,767	5,770	6,900	»	»		
168 gr.	1 950 tours	*b*	21 »	253,680	298,840	0,498	0,586		
		I	0,850	10,631	11,163	0,589	0,618	21,210	
	N° 2	II	2,133	97,957	112,779	2,162	2,489		
	—	III	7,850	73,801	85,658	0,443	0,511		
Idem.	16 juin	IV	12,338	79,897	97,912	0,305	0,374	21,230	— 10
	—	*a*	0,834	6,351	7,585	»	»		
	2 590 tours	*b*	21 »	268,610	315,097	0,533	0,625		
		I	0,917	10,139	10,540	0,537	0,568	20,590	
	N° 8	II	1,700	73,490	84,025	2,099	2,400		
	—	III	7,750	76,469	88,321	0,479	0,553		
Idem.	28 juin	IV	11,850	76,316	99,115	0,313	0,406	20,550	— 40
	—	*a*	1,783	13,901	17,051	»	»		
	1 950 tours	*b*	21 »	250,315	299,055	0,517	0,616		
		I	0,767	9,012	8,812	0,572	0,561	20,550	
	N° 9	II	2,217	92,731	107,120	2,035	2,351		
	—	III	8,083	75,557	84,307	0,455	0,508		
Idem.	29 juin	IV	11,533	75,627	93,207	0,319	0,393	20,445	— 105
	—	*a*	1,400	10,790	12,670	»	»		
	2 590 tours	*b*	21 »	263,717	306,146	0,515	0,631		
		I	0,683	7,495	7,120	0,537	0,531	20,445	
	N° 10	II	2,250	96,508	109,314	2,098	2,376		
	—	III	8,233	76,119	88,257	0,452	0,524		
Idem.	30 juin	IV	11,883	74,278	92,968	0,305	0,383	20,400	— 45
	—	*a*	0,951	7,112	8,521	»	»		
	2 590 tours	*b*	21 »	261,542	306,190	0,510	0,632		

TABLEAU A''

Échanges respiratoires de vingt-quatre heures dans le cas de *travail*.
***Ni graisse, ni sucre* dans la ration.**

RÉGIME	NUMÉROS d'ordre — DATE — INTENSITÉ du travail	NUMÉROS des périodes de chaque expérience	DURÉE des périodes (division décimale de l'heure)	ÉCHANGES respiratoires dans chaque période		COEFFICIENTS respiratoires à l'heure et au kilogr.		ENTRETIEN du sujet	
				CO^2 exhalé	O^2 absorbé	CO^2 exhalé	O^2 absorbé	Poids au début et à la fin de chaque journée	Gain ou perte
			Heures.	Litres.	Litres.	Litres.	Litres.	Kilogr.	Grammes
Viande : 1 200 gr.	N° 11 — 1er juillet 1898 — 2,590 tours.	I	0,733	7,252	8,259	0,485	0,552	20,400	
		II	2,217	81,266	100,851	1,797	2,230		
		III	8,283	81,719	99,950	0,181	0,591		
		IV	11,800	125,870	162,533	0,523	0,675	20,100	— 300
		a	0,967	9,995	12,638	»	»		
		b	24 »	306,102	384,231	0,630	0,790		
Inanition	N° 18 — 10 juillet — 2,590 tours.	I	0,500	4,047	5,027	0,120	0,521	19,280	
		II	2,317	69,759	95,940	1,574	2,164		
		III	7,600	50,504	71,190	0,347	0,489		
		IV	12,317	78,830	109,813	0,338	0,469	18,790	— 490
		a	1,266	8,221	11,505	»	»		
		b	24 »	211,361	293,475	0,469	0,651		

TABLEAU B

Échanges respiratoires de vingt-quatre heures dans le cas de *repos*, avec les divers régimes du cas de travail.

RÉGIME	NUMÉROS d'ordre — DATE	NUMÉROS des périodes de chaque expérience	DURÉE des périodes (division décimale de l'heure)	ÉCHANGES respiratoires dans chaque période		COEFFICIENTS respiratoires à l'heure et au kilogr.		ENTRETIEN du sujet	
				CO^2 exhalé	O^2 absorbé	CO^2 exhalé	O^2 absorbé	Poids au début et à la fin de chaque journée	Gain ou perte
			Heures.	Litres.	Litres.	Litres.	Litres.	Kilogr.	Grammes
Viande : 500 gr.	N° 17	I	2,267	20,201	27,218	0,460	6,621	19,375	
	—	II	2,183	19,031	27,633	0,450	0,658		
		III	5,683	60,501	79,286	0,519	0,720		
Saindoux : 110 gr.	9 juillet 1898	IV	11,817	85,789	113,369	0,375	0,495	19,280	— 95
		a	2,050	17,187	22,567	»	»		
		b	24 »	202,662	270,103	0,436	0,581		
Viande : 500 gr.	N° 15	I	2,367	32,157	32,761	0,705	0,714	19,390	
	—	II	1,833	18,539	19,586	0,521	0,551		
		III	6,133	54,699	62,663	0,460	0,527		
Sucre : 168 gr.	7 juillet	IV	12,033	81,503	95,493	0,349	0,409	19,400	+ 10
		a	1,634	12,251	14,226	»	»		
		b	24 »	199,149	224,729	0,431	0,485		
Viande : 1 200 gr.	N° 18	I	2,417	22,361	30,597	0,476	0,651	19,450	
	—	II	2,700	26,109	36,319	0,497	0,692		
		III	5,450	51,316	65,820	0,481	0,621		
	3 juillet	IV	11,900	113,106	155,529	0,488	0,672	19,330	— 120
		a	1,533	14,518	19,558	»	»		
		b	24 »	227,423	307,821	0,487	0,659		
Inanition	N° 12	I						20,100	
	—	II	11,170	81,021	111,387	0,375	0,496		
		III							
	2 juillet	IV	11,830	75,525	99,119	0,338	0,487	19,450	— 650
		a	1 »	6,937	9,152	»	»		
		b	24 »	166,483	219,658	0,351	0,462		

Tous les chiffres de ces tableaux sont intéressants. Mais les seuls qui doivent attirer et retenir l'attention, au point de vue de la question posée, ce sont ceux qui sont imprimés en caractères gras, particulièrement les derniers, ceux qui expriment la quantité d'oxygène consommé pendant le travail, par heure et par kilogramme du poids de l'animal (*période II de chaque expérience*). Je condense les indications de ces chiffres dans les moyennes ci-dessous :

Consommation moyenne de O^2 pendant le travail, par heure et par kilogramme du poids de l'animal, dans les trois cas suivants :

A	B	C
INANITION (1 seule expérience.)	RATION viande et graisse (4 expériences.)	RATION viande et sucre (5 expériences.)
Litres.	Litres.	Litres.
2,164	2,595	2,417

Ces chiffres donnent lieu à une première remarque. La consommation d'oxygène est moindre, pendant le travail, chez le sujet en inanition que chez le sujet nourri. Cela ne veut pas dire que l'énergie dépensée, dans ce dernier cas, par le travail musculaire lui-même soit plus considérable. La différence en plus provient surtout de ce que les travaux physiologiques liés à l'exercice de la digestion, de l'absorption et de l'assimilation alimentaires entraînent une dépense spéciale d'énergie qui s'ajoute à celle du travail des muscles. Cet excédent se retrouve, du reste, également chez l'animal qui ne travaille pas.

Seconde remarque, d'une importance beaucoup plus grande : quand le sujet travaille, la consommation de O^2 devient couramment environ quatre fois et demie plus considérable que dans l'état de repos. Or, cet énorme accroissement des combustions organiques ne se réalise pas aux dépens de tous les potentiels indifféremment. Nous savons de source certaine que la dépense en albuminoïde du sujet qui travaille, qu'il soit alimenté ou non, reste sensiblement la même que dans l'état de repos. C'est à peu près exclusivement sur les substances ternaires que porte l'excès de consommation dont le potentiel est l'objet pendant le travail. Il en résulte que, dans le cas de ration-sucre, si la dépense portait directement sur l'hydrate de carbone que

cette ration introduit dans le sang, le quotient respiratoire du travail devrait tendre davantage vers l'unité. Or, c'est le contraire qui arrive. Le quotient moyen, égal à 0,981 pendant le repos qui précède immédiatement le travail, n'est plus que de 0,867 pendant la durée même de ce dernier. D'où il faut induire que le sujet consomme alors plus de O^2 que ne le comporterait une combustion directe de l'hydrate de carbone. Le fait se produit en effet ainsi sur notre sujet. Pendant le travail, il excrète en moyenne 2^l,097 de CO^2 par heure et par kilogramme du poids du corps. Cette quantité d'acide carbonique vient peut-être en partie du dédoublement anaérobien du sucre alimentaire. Mais supposons-la presque entièrement en provenance des combustions organiques proprement dites ; en faisant un bloc de ce qui peut résulter à la fois de la combustion des albuminoïdes et de celle des hydrates de carbone, le CO^2 produit n'impliquerait qu'une absorption de O^2 atteignant au plus 2^l,140 à 2^l,150. Or, la quantité réellement consommée s'élève en moyenne à 2^l,417. Il faut donc qu'une substance à faible quotient de combustion subisse alors les atteintes de l'oxygène. Et tout le monde sait que cette substance ne peut être que la graisse accumulée dans les réserves de l'organisme.

Voilà le fait essentiel sur lequel je voulais appeler l'attention, parce qu'il constitue une *démonstration directe du prolongement, chez l'animal alimenté, du processus de dépense énergétique de l'état d'inanition.*

Ce processus intervient sûrement, même avec assez d'activité, sur tous les sujets nourris avec une ration riche en hydrates de carbone. Quoiqu'ils aient le sang saturé de glycose en provenance du tube digestif, ils continuent à consommer leurs réserves graisseuses, comme ils le font lorsqu'ils sont soumis à une complète abstinence. Sans doute, ces réserves sont reconstituées à mesure par la transformation en graisse d'une partie de ce sucre glycosique. Toutefois, on ne saurait nier qu'une partie de ce dernier ne puisse aussi se brûler, soit directement, soit plutôt après s'être fixée dans le tissu musculaire sous forme de glycogène. Ce n'est pas précisément la conservation d'un quotient respiratoire relativement élevé qui prouverait cette combustion quasi immédiate de l'hydrate de carbone alimentaire. En effet, il suffit, pour l'élévation du quotient respiratoire, de la libéra-

tion du CO^2 en provenance de la transformation, par dédoublement, du sucre en graisse. Mais on trouve, en faveur de cette combustion quasi immédiate, un argument autrement solide dans la comparaison des quantités de O^2 consommé par l'organisme, pendant le travail, avec la ration-graisse et la ration-sucre. *La consommation absolue de O^2 est, en effet, toujours moindre avec la ration-sucre qu'avec la ration-graisse.* Dans les expériences actuelles, le rapport entre les deux consommations est :

$$\frac{2,417}{2,595} = 0^1,931$$

On peut considérer ces chiffres comme l'expression habituelle de l'infériorité de la consommation de O^2, pendant le travail, dans le cas où la ration subit la substitution du sucre à la graisse. Cette infériorité est un fait constant, même quand la substitution a eu lieu en quantité strictement isodyname. *Ce fait a son importance, car il est le principal témoin de la combustion plus ou moins immédiate d'une partie des hydrates de carbone introduits par la digestion dans l'intimité de l'organisme.*

C'est ainsi que les résultats des laborieuses expériences que je viens de résumer dans les tableaux ci-devant sont de nature à nous renseigner, avec une certaine précision, sur la détermination des processus principaux de dépense énergétique qui peuvent intervenir *pendant le travail* chez l'animal alimenté :

1° *D'une part, le taux d'oxygène absorbé, par rapport à la quantité d'acide carbonique produit, prouve que, malgré la grande abondance des hydrates de carbone dont le sang est chargé pendant la digestion d'une ration riche en sucre, l'oxygène continue à s'attaquer partiellement, au moment du travail, aux réserves graisseuses, source unique du potentiel consommé chez le sujet en inanition;*

2° *D'autre part, la quantité d'oxygène absorbé, pendant le travail, dans le cas de ration-sucre, comparée à celle qui est consommée dans le cas de ration-graisse, démontre que l'oxygène brûle, soit directement, soit après transformation en glycogène musculaire, une partie des hydrates de carbone puisés par le sang dans le canal intestinal.*

Résumé de tous les enseignements contenus dans les résultats des expériences précédentes.

Ainsi, chez le sujet qu'un bon régime entretient d'une manière à peu près régulière, le tissu musculaire ne s'alimente pas en énergie exclusivement auprès des principes alibiles que le tube digestif fournit immédiatement au sang. Il est évident alors que notre tendance simpliste à calculer la dépense énergétique des travaux physiologiques de l'organisme d'après la combustion directe des éléments de la ration n'est pas à l'abri de toute objection. Sans doute, il y a des cas dans lesquels cette manière de procéder n'expose pas à l'erreur, tel celui où la ration se compose des éléments mêmes que le sujet emprunte à sa propre substance pour subvenir à ses dépenses dans l'état d'inanition. Sans doute, dans les autres cas, il peut s'établir, entre les dislocations du potentiel intérieur et le métabolisme chimique qui le reconstitue aux dépens des aliments, certains rapports compensateurs qui permettent l'illusion d'une combustion directe de ces derniers. Mais cette illusion a ses dangers : il serait facile de montrer par des exemples — même récents — qu'on s'expose à des conclusions aventurées quand on méconnaît chez le sujet alimenté l'intervention possible, sinon absolument nécessaire, du processus de dépense énergétique de l'état d'inanition.

Plus que jamais l'idée de la permanence de ce processus s'impose aux physiologistes. L'animal inanitié se dépense lui-même, en consommant ses réserves de potentiel intérieur, la graisse particulièrement, incessamment employée avec les albuminoïdes de l'organisme à la reconstitution du glycogène brûlé pour libérer l'énergie consacrée au travail musculaire. Si on alimente l'animal, cette consommation du potentiel intérieur ne s'arrête pas nécessairement. Il y a des cas où la continuation de cette consommation se manifeste avec la plus évidente clarté. Ces cas autorisent à considérer le prolongement plus ou moins actif de la dépense du potentiel intérieur comme un fait général. Le rôle essentiel du potentiel alimentaire consisterait surtout à remplacer ce potentiel intérieur consommé par les travaux physiologiques de l'organisme.

Mais pour que le potentiel extérieur ingéré remplisse effectivement ce rôle, il faut qu'il en ait le pouvoir, c'est-à-dire qu'il soit constitué par un *aliment vrai*. Les aliments dits d'épargne, dont l'alcool est le type, sont naturellement impropres à ce rôle. Quand l'absorption les a fait pénétrer dans le sang, ils ne sont bons qu'à faire, en se brûlant immédiatement, de la chaleur, que l'animal en ait ou non besoin au moment où ils interviennent.

Quant aux aliments vrais, albuminoïdes, graisses, hydrates de carbone, doués de la même aptitude à la combustion immédiate, l'exercent-ils jamais en réalité? C'est probable. Mais leur vraie destination, c'est d'accomplir un rôle de remplacement à l'égard du potentiel intérieur consommé.

S'agit-il des hydrates de carbone alimentaires? Ou bien ils remplacent le glycogène que le travail physiologique des muscles a enlevé à la trame de leur tissu; ou bien ils reforment, par un mécanisme anaérobien que nous ne sommes pas sûrs de posséder complètement, les réserves graisseuses entamées par les dépenses énergétiques antérieures ou contemporaines.

S'agit-il des graisses? Elles se prêtent admirablement à une incorporation directe et immédiate aux amas graisseux préexistant dans l'organisme. Mais il est absolument impossible d'affirmer qu'elles n'échappent pas en partie à cette assimilation pour se brûler de suite en deux temps, à la manière des graisses déjà incorporées, et en jouant, comme ces dernières, le rôle de potentiel énergétique.

S'agit-il enfin des matières albuminoïdes? On verra les unes, comme la gélatine, jouer leur rôle nutritif en se transformant immédiatement en glycogène ou en graisse. Les autres, c'est-à-dire les vraies substances albuminoïdes, prélèvement fait sur elles de la partie chargée du renouvellement des tissus, subissent la même transformation immédiate en glycogène et en graisse. Ces substances se trouvent ainsi dans des conditions parfaites pour remplir — seules parmi toutes les autres, comme on le sait de reste — le rôle d'un aliment complet.

Ainsi, il n'existe pas de processus spéciaux de nutrition pour l'état d'inanition, d'autres, non moins spéciaux, pour l'état d'alimentation. Ceux-ci ne remplacent pas nécessairement ceux-là. Les substitutions radicales ne se produisent ici en aucun cas. Chez le sujet alimenté,

les processus destructeur et réparateur sont contemporains. Si ce sujet est mis en état d'abstinence complète, l'un des processus persiste seul : celui de la dislocation du potentiel accumulé dans l'organisme ; l'autre, le processus de réparation, manque. D'où l'amaigrissement de plus en plus prononcé du sujet. C'est là toute la différence qui existe entre les deux cas de l'inanition et de l'alimentation, si nous en croyons *la démonstration qui vient d'être faite, d'une manière certaine, du prolongement du processus de dépense énergétique de l'inanition, chez l'animal alimenté.*

ÉTUDE SUR LES KIRSCHS

PAR MM.

E. KAYSER et F. DIENERT

La fabrication des kirschs constitue, pour certaines régions de l'Europe, une industrie relativement importante.

En France dans les départements des Vosges et de la Haute-Saône (Fougerolles), en Allemagne dans la province rhénane et dans le grand-duché de Bade (Forêt-Noire), en Alsace, dans le grand-duché de Luxembourg la fabrication du kirsch est très répandue.

Le kirsch est le résultat de la distillation du liquide provenant de la fermentation des cerises. Pour le fabriquer, on emploie plusieurs variétés de fruits qui sont : la merise, qui prédomine dans les environs de Beaufort et qui sert à la fabrication du kirsch de Beaufort, la variété bigarreau, la variété guigne, etc.

Ainsi sur les bords de la Moselle on cultive dans ce but :

1° Le *bigarreautier,* qui fournit un fruit appétissant à chair succulente assez dure;

2° Le cerisier à guignes qui fournit un fruit à chair tendre.

Les distillateurs se servent surtout de ces derniers, car les bigarreaux se transportent mieux et sont plus recherchés pour la consommation. En général, ce qui se vend sous le nom de kirsch n'est qu'un produit distillé résultant d'un mélange de cerises diverses qui porte parfois le nom d'une localité sans qu'il ait jamais vu cette contrée.

Fabrication du kirsch

Pour faire un bon kirsch, il est nécessaire d'employer des fruits aussi mûrs que possible. Les cerises sont débarrassées de leurs queues et de leurs feuilles qui donneraient au produit un goût désagréable.

Il faut éliminer d'une façon aussi complète que possible tous les fruits insuffisamment mûrs.

Le choix des cerises étant fait, on introduit celles-ci dans des vases de fermentation et on les tasse au moyen d'un pilon en bois. 100 kilogr. de cerises pressées occupent un volume de 94 à 98 litres.

Sous l'action de cette pression, la chair des fruits est mutilée ainsi qu'une partie des noyaux. La mise en liberté des amandes contenues dans les noyaux est importante, car c'est surtout de celles-ci que le kirsch retire le principe qui lui donne son bouquet particulier et caractéristique. Sous l'action d'un ferment soluble, l'émulsine contenue dans le noyau, l'amygdaline se trouve décomposée, il se forme de l'acide cyanhydrique, principe odorant de l'huile d'amandes amères.

Les vases employés à la fermentation, les fruits et les presses doivent être bien propres. C'est malheureusement une condition très mal observée parmi les distillateurs.

Les cerises ainsi préparées sont abandonnées à la fermentation alcoolique. Des essais ont été faits pour ensemencer les cerises au moyen de levures pures, et M. Biver, dans le grand-duché de Luxembourg, a obtenu des résultats très encourageants, la fermentation étant plus régulière et plus rapide, conditions essentielles d'une bonne fabrication.

La température nécessaire pour le commencement de la fermentation est de 14 à 16° centigrades, la masse s'échauffant par la suite sous l'action de la fermentation. Sa durée ne doit pas dépasser quinze jours à trois semaines, parce que par la suite l'alcool subit l'action des ferments du vinaigre.

Malheureusement, dans les pays producteurs on fabrique le kirsch dans les moments perdus. Le paysan ignore le capital représenté par sa cuvée de cerises et ne s'en occupe que lorsque le temps le force à rester chez lui. Pour encourager son incurie, il prétend qu'en

abandonnant ainsi pendant plusieurs mois les fruits fermentés il obtient un kirsch meilleur et ayant plus de bouquet. La fermentation terminée, il importe au contraire de distiller le plus rapidement possible sous peine de voir le produit perdre de ses qualités.

La distillation doit être conduite en deux phases. Pendant la première, on distille la masse de cerises fermentées en ayant soin cependant de ne pas chauffer la pulpe des cerises, mais simplement le liquide alcoolique dans lequel elle baigne. Pour cela, l'alambic est à double fond percé de trous; celui-ci sert de passoire et retient sur sa surface la masse pâteuse dont le chauffage donnerait au kirsch un goût peu agréable. D'autre part, il est indispensable de ne jamais interrompre une distillation, l'irrégularité étant une cause d'insuccès dans la qualité du produit obtenu.

Quelquefois, dans les grandes exploitations, on se sert d'appareils à distiller chauffés par la vapeur. Dans ces conditions, on n'a pas à craindre les surchauffes.

Le kirsch n'est pas le premier produit de la distillation. On redistille à nouveau le premier distillat, et c'est ce produit qui constitue le kirsch. Le choix de l'appareil à distiller n'est pas indifférent sur la qualité du produit.

Pour conserver le kirsch, on emploie des tonneaux en bois ou des bonbonnes en verre. Dans les tonneaux, l'air pénètre plus facilement et bonifie les kirschs qui, dans les premiers mois après la distillation, sont âpres et peu agréables. Dans les bonbonnes en verre l'amélioration des kirschs est plus lente, l'air entrant plus difficilement.

Les tonneaux en bois ont un inconvénient, celui de donner aux eaux-de-vie une coloration. Les kirschs étant réclamés incolores, il importe de bien ébouillanter ces tonneaux, de façon à enlever les produits capables de colorer les eaux-de-vie.

Les meilleurs tonneaux sont ceux faits en bois de frêne. On conserve les kirschs dans des caves sèches et fraîches, de façon à obtenir la plus petite perte possible.

La richesse en alcool des kirschs varie selon les années. Dans le Luxembourg, M. Biver, qui s'est beaucoup occupé de cette question, a trouvé de 44 à 61°,6 °/₀ d'alcool en volume.



La qualité des kirschs dépend, comme pour toutes les eaux-de-vie, des régions où a eu lieu la récolte des cerises, mais elle dépend beaucoup encore des conditions de la fermentation. Comme il est très facile d'obtenir des cerises exemptes de levures en les lavant à grande eau, on peut essayer l'emploi des levures pures qui, dans la fermentation des boissons fermentées en général et du vin en particulier, ont donné d'excellents résultats. Comme nous l'avons dit plus haut, M. Biver, dans le grand-duché de Luxembourg, qui a opéré avec des levures pures, a obtenu une fermentation plus rapide et un kirsch meilleur.

Cependant, si on améliore la fermentation par l'introduction de levures pures, rien ne prouve que parmi les microbes éliminés quelques-uns ne soient utiles.

C'est pour élucider ce problème dans le cas de la fabrication des kirschs que nous avons institué les expériences suivantes :

Première expérience. — Cette expérience avait pour but de rechercher l'influence de l'écrasement des noyaux ainsi que l'action d'un microbe dans la fabrication des kirschs. Pour cela, dans quatre ballons de 2 litres on introduit 1 500 grammes de cerises dont l'espèce n'a pas été bien déterminée mais achetée comme fruit comestible. Ces cerises étaient traitées et ensemencées après stérilisation comme il est indiqué ci-dessous :

a) Cerises témoin qui ont servi à doser le sucre du jus, l'acidité, etc. ;

b) Cerises dont les noyaux ont été écrasés à la presse comme dans la pratique. Ces cerises ont été ensemencées au moyen d'une levure isolée d'un moût de cerises par M. Kayser et désignée au laboratoire par la lettre V ;

c) Cerises introduites entières dans le ballon, sans écraser les noyaux. Ce ballon a été ensemencé avec la levure V ;

d) Les cerises étaient introduites comme dans le précédent ballon, mais ensemencées avec la levure V additionnée d'un microbe ayant les propriétés d'un ferment lactique et isolé également par l'un de nous d'une lie de cerises.

Les ballons ont été abandonnés à la fermentation à la température

du laboratoire. La fermentation terminée, on procède à l'analyse de la façon suivante :

On extrait le jus à la presse et on le filtre sur papier. Sur ce liquide on détermine le sucre restant, l'acidité totale, l'acidité volatile et l'alcool.

Le dosage du sucre a été fait au moyen de la liqueur de Fehling (procédé en volume).

L'acidité totale s'obtient en neutralisant le liquide par l'eau de chaux jusqu'au moment où, au moyen d'un papier tournesol, on constate la neutralisation. A ce moment, la couleur du jus devient verdâtre permettant de contrôler les résultats obtenus avec le papier tournesol.

L'acidité volatile a été recherchée par la méthode Duclaux, c'est-à-dire en distillant 110 à 100^{cc} et en dosant l'acidité du distillat au moyen d'eau de chaux. L'acidité obtenue est ramenée au litre et, si on considère que l'acide volatil est de l'acide acétique, les tables de Duclaux apprennent que l'acidité obtenue doit être multipliée par $\frac{8}{10}$.

Pour obtenir du kirsch, nous avons distillé le jus à moitié, le distillat est redistillé à moitié et ainsi de suite jusqu'à ce que l'alcool retiré marque 50° en volume.

Dans le kirsch obtenu nous avons dosé les éthers volatils, le furfurol et l'aldéhyde. Nous n'avons pu, faute de liquide, doser l'acide cyanhydrique.

Le dosage des éthers volatils se fait d'après le procédé Lindet, par saponification de l'alcool au moyen d'un excès de potasse. On chauffe à l'ébullition au réfrigérant ascendant 50^{cc} d'alcool additionné d'une quantité connue de potasse donnée. Après une heure de chauffe, on titre la potasse restante. La quantité disparue représente l'acidité des acides des éthers saponifiés.

Le dosage du furfurol a été fait par la méthode colorimétrique. A 20^{c} d'alcool on ajoute dix gouttes d'aniline pure et incolore et 1^{cc} d'acide acétique très pur de Merck. Il se produit une coloration violette plus ou moins intense selon la richesse de l'alcool en furfurol. On compare au colorimètre la coloration obtenue avec celle d'un alcool pur contenant une quantité connue (5 milligrammes par litre) de furfurol.

L'aldéhyde a été dosé par la méthode de Gayon, c'est-à-dire par une méthode colorimétrique. Sous l'influence de l'aldéhyde la fuchsine décolorée par l'acide sulfureux donne une coloration rouge plus ou moins intense selon la richesse du kirsch en aldéhyde.

La coloration obtenue est comparée avec celle d'un alcool renfermant 0gr,100 d'aldhéyde pur par litre.

Les résultats des analyses sont les suivants :

	VOLUME de liquide sur lequel a eu lieu l'analyse	SUCRE en saccharose °/o	ACIDITÉ totale en acide succinique °/oo	ACIDITÉ volatile en acide acétique °/oo	ÉTHER volatil en acide acétique °/oo	ALCOOL en volume °/o	FURFUROL °/oo	ALDÉHYDE °/oo
	c. cubes.						milligr.	milligr.
Témoin	485	11gr,46	8,60	0,105	0,046	0	0	0
Noyaux écrasés . .	840	traces	6,05	0,075	0,044	6,2	8	100
Complet.	880	traces	6,14	0,081	»	7,0	14	100
Complet + ferment lactique. . . .	850	traces	2,03	0,681	0,053	4,8	2	9

Comme goût et comme odeur, le ballon renfermant le ferment lactique était préférable aux autres.

L'examen de ce tableau nous montre que, au point de vue du rendement, le résultat du dernier ballon laisse à désirer. Une partie de l'alcool a disparu, remplacé par de l'acide volatil.

Dans le produit distillé, il y a beaucoup moins d'aldéhyde et moins de furfurol là où se trouve le microbe.

Entre le kirsch du deuxième ballon et celui du troisième il n'y a pour ainsi dire aucune différence à l'analyse ; il y en a peu dans le goût. L'influence de l'écrasement des noyaux n'apparaît pas dans notre expérience.

Peut-être est-ce aux acides volatils ainsi qu'aux éthers qu'il faut attribuer cette amélioration du goût du kirsch du quatrième ballon ; en tout cas, le bacille a eu une influence très marquée sur l'alcool obtenu.

La deuxième expérience, faite pour corroborer la première et pour rechercher l'influence de la levure, a été ensemencée avec

les levures T et V, isolées toutes deux de cerises fermentées et dont les caractères morphologiques et physiologiques sont les suivants :

Levure T (*fig. 1*). — Dans les bouillons de culture, cette levure s'émulsionne facilement. Elle est presque sphérique, a 5 à 8 μ de long sur 4,5 à 6,5 de large ; elle sporule rapidement après trente-six heures, on voit nettement les quatre spores disposées en croix ou en ligne.

De ces deux levures c'est la levure T qui tolère plus facilement l'acide tartrique.

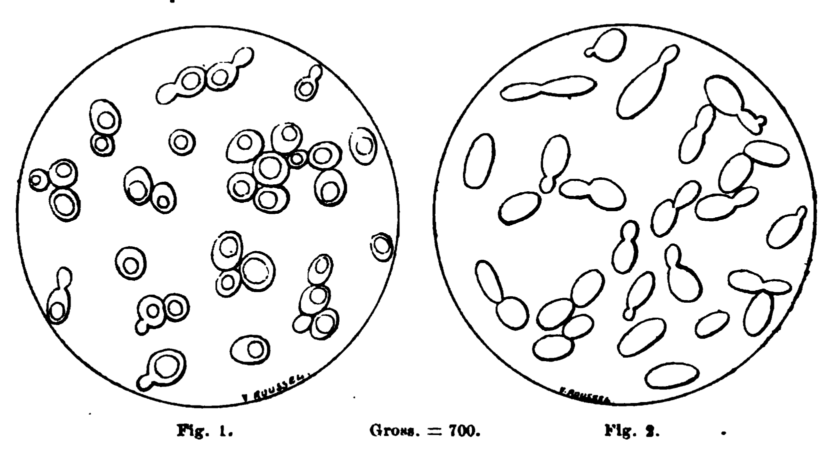


Fig. 1. Gross. = 700. Fig. 2.

Levure V (*fig. 2*). — Cette levure est plus allongée que la précédente. Elle a 7 à 9 μ de long sur 4 à 4,5 μ de large. Elle reste en grumeaux dans le liquide et sporule seulement après cent huit heures. On ne voit guère que trois spores. Cette levure est plus sensible à l'acide tartrique que la précédente (*fig. 2*). Au point de vue physiologique, voici les résultats obtenus par la fermentation d'une même eau de touraillon contenant 208^{gr},6 de saccharose par litre qui permet la différenciation de ces levures :

	SUCRE restant	ALCOOL produit en volume	ACIDITÉ volatile en acide acétique	ACIDITÉ totale en acide succinique	SUCRE détruit
	gr. °/o	gr. °/o	gr. °/oo	gr. °/oo	gr. °/o
Levure T .	3,8	8,1	0,087	2,308	17,06
Levure V .	2,6	8,6	0,347	2,091	18,26

Ces deux levures se différencient nettement d'après leur production en acide volatil. Nous retrouverons cette différenciation pour les kirschs obtenus avec elles.

Deuxième expérience. — Quatre kilogrammes de cerises achetées à Paris ont été mis dans un ballon rond et stérilisés. Trois ballons identiques ont été préparés ainsi, sans concassage des noyaux, et ensemencés de la façon suivante :

Premier ballon. Ensemencé avec un mélange égal des levures T et V.

Deuxième ballon. Ensemencé avec un mélange égal de la levure T avec le microbe indiqué dans la précédente expérience.

Troisième ballon. Ensemencé avec la levure T seule.

Ces trois ballons sont abandonnés à la température du laboratoire et on en extrait l'alcool au bout de quelques mois seulement. Opérant en milieu stérilisé et avec des levures pures, nous n'avions pas à craindre l'acidification de l'alcool des cerises par les ferments du vinaigre.

Après la fermentation, on observe que la couleur du jus de cerises fermenté est rouge-cerise dans les premier et troisième ballons; il est au contraire rouge sale dans le deuxième ballon, qui contient le ferment lactique.

Comme pour la précédente expérience, le contenu de chaque ballon est exprimé à la presse et le jus récolté sert à la fabrication du kirsch et à l'analyse,

Par ce moyen on récolte :

	JUS
Ballon 1.	2 236 grammes.
Ballon 2.	2 202 —
Ballon 3.	2 180 —

Toutefois, pour éviter les surchauffes dans l'appareil à distiller, on dégrossit les jus en les filtrant sur papier-filtre.

Le jus exprimé des cerises avant l'expérience renfermait 15 % de sucre. Dans le jus fermenté on n'en trouve plus que des traces.

Voici les résultats de l'analyse :

	SUCRE	ACIDITÉ totale en acide succinique	ACIDITÉ volatile en acide succinique	ACIDITÉ fixe en acide succinique	ALCOOL en volume
	gr. °/o	gr. par litre	gr. par litre	gr. par litre	°/o
Premier ballon. . .	traces	4,87	0,567	4,303	5,6
Deuxième ballon. .	traces	2,83	0,790	2,040	5,1
Troisième ballon. .	traces	5,75	0,223	5,527	5,0
Jus de cerises. . .	15,0	6,77	0,440	6,330	0

Par la distillation fractionnée, d'après la méthode de M. Duclaux, on trouve :

	ACIDES propionique	ACIDES acétique
	grammes	grammes
Dans le premier ballon.	1	5
Dans le deuxième ballon	1	6

C'est donc surtout de l'acide acétique qui se produit.

On retrouve ici encore une diminution importante de l'acidité fixe là où vit le microbe et une augmentation notable de l'acidité volatile en présence de la levure V et du ferment lactique.

Dans cette expérience, l'influence du microbe sur le rendement en alcool est peu accentuée, beaucoup moins que dans la première expérience. Si la qualité du produit dépend de la richesse du moût fermenté en acide volatil, les kirschs obtenus devront se classer ainsi :

Numéro 1	Kirsch du deuxième ballon.
Numéro 2	— du premier ballon.
Numéro 3	— du troisième ballon.

Nous verrons par la suite ce qu'il en est.

Pour fabriquer nos kirschs d'expérience, nous avons distillé les jus filtrés à feu nu dans un ballon surmonté d'une colonne en verre à quatre boules de Lebel et Henninger. Le produit distillait à partir de 91° et nous arrêtions la récolte de l'alcool quand la température dépassait 95°.

En opérant ainsi nous avons obtenu :

Pour le premier ballon.	159 cent. cubes.
Pour le deuxième ballon	144 —
Pour le troisième ballon. . . .	145 —

Nos kirschs ainsi obtenus avaient la composition suivante :

	ALCOOL en volume —	ACIDES volatils en acide acétique °/oo —	ÉTHERS volatils en acide acétique °/oo —	ALDÉHYDE °/oo —	FURFUROL en milligr. par litre —
Premier ballon . .	44,1	0,177	0,271	0,057	3,3
Deuxième ballon. .	38,8	0,249	0,238	0,016	0,8
Troisième ballon. .	40,7	0,085	0,215	0,090	0,8

Sauf pour le kirsch du premier ballon, les alcools obtenus sont un peu moins riches que ceux analysés par M. Biver dans le grand-duché de Luxembourg.

La quantité d'acides volatils dans nos kirschs est proportionnelle à celle des moûts comme on devait s'y attendre.

Il y a peu d'aldéhyde et de furfurol dans les kirschs obtenus avec la levure T.

La dégustation fut faite par M. Étienne qui, originaire de l'Est, a une grande habitude de ces produits.

Les kirschs lui avaient été présentés avec un numéro et il ignorait complètement la façon dont ils avaient été préparés.

Voici les résultats de son examen :

	GOUT — numéros	ODEUR — numéros
Kirsch du premier ballon	2	1
— du deuxième ballon.	1	2 [1]
— du troisième ballon.	3	3

Ces kirschs se placent donc dans le même ordre que d'après leur richesse en acides volatils, comme dans notre première expérience. Nous attirons l'attention sur cette conclusion qui devra être corroborée par de nombreuses analyses et dégustations de kirschs; il y a peut-être là plus qu'une coïncidence.

1. Légère odeur d'éther, sans cela il serait classé le premier.

D'autre part, le microbe améliore très sensiblement le goût et l'odeur des alcools, car nous voyons la levure T donner un mauvais kirsch quand, au contraire, par son mélange avec le ferment lactique on obtient le meilleur produit.

Ce résultat très intéressant était utile à signaler et est susceptible d'application pratique, non seulement dans la fabrication des kirschs, mais aussi dans celle des eaux-de-vie en général.

C'est presque la réhabilitation du microbe dans la fermentation alcoolique au moyen de levures pures.

Pour terminer, nous devons remercier MM. Biver et Étienne pour les renseignements et le concours qu'ils nous ont fournis dans le cours de ces expériences.

LA

COUVERTURE MORTE DES FORÊTS

ET L'AZOTE

PAR

Le Professeur Dr HORNBERGER

DE L'ACADÉMIE FORESTIÈRE DE MUNDEN (1)

Sous le titre « L'azote et la végétation forestière » a paru dans le *Journal d'agriculture pratique* (2) un article de M. Grandeau sur un travail de Ed. Henry, professeur à l'École nationale forestière de Nancy, dont j'ai rendu compte dans les *Mündener forstl. Heften* (3). Je reproduis ici la partie principale de mon analyse : « L'auteur se demande comment il se fait que, tandis que l'agriculteur doit chaque année apporter de l'azote à ses champs sous forme d'engrais, le stock d'azote de la forêt reste constant, malgré une emprise annuelle de 45 à 55 kilogr. nécessaire à la production du bois et de la couverture.

« Il y a pour les champs cultivés une cause de perte d'azote qui ne semble pas exister pour les sols forestiers : je veux parler de la disso-

1. Traduction littérale de l'article « Streu und Stickstoff » paru dans la *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen* de février 1905, p. 71-82.

2. 1897, t. II, p. 411 et 485, Compte-rendu dans *Centralblatt für Agrikulturchemie*, 1898, p. 831.

3. 12° Heft 1899, p. 151.

lution et de l'entraînement par les eaux météoriques des nitrates non utilisés par les végétaux cultivés ; car on ne trouve pas de nitrates en forêt, ou ils n'y existent qu'en minimes quantités. L'idée que la nitrification ne se produit pas dans les sols forestiers à cause de leur acidité semble peu fondée, puisque des sols calcaires, présentant donc des conditions favorables à la nitrification, ne montrèrent pas trace de nitrates.

« Il peut se faire que les nitrates se produisent dans tous les milieux, mais qu'ils soient détruits à mesure en forêt par les microorganismes dénitrificateurs qui existent dans la paille et sans doute dans tous les détritus végétaux et décomposent les nitrates pour en faire partiellement entrer l'azote dans une combinaison organique, cette transformation étant accompagnée d'un dégagement d'azote qui retourne à l'état gazeux dans l'atmosphère.

« Ces pertes, ajoutées à celles qui résultent de l'enlèvement du bois dans les coupes, sont compensées par :

« 1° L'apport des précipitations atmosphériques en ammoniaque et acide nitrique (11 kilogr. par hectare et par an dans le cas le plus favorable) ;

« 2° L'absorption des combinaisons azotées de l'air par le sol ;

« 3° La captation de l'azote élémentaire de l'air par les papilionacées et les autres végétaux pourvus de tubercules radicaux.

« L'auteur croit avoir trouvé une source d'azote plus importante et plus générale.

« D'après lui, les feuilles mortes possèdent la faculté de fixer l'azote libre de l'air ; cette propriété tiendrait à l'activité de certains microorganismes vivant sur ces feuilles, y pullulant vite et capables d'utiliser l'azote élémentaire pour la constitution de leurs tissus propres.

« L'auteur a cueilli en novembre des feuilles de jeunes chênes et charmes et, après avoir déterminé leur taux d'azote, il les plaça dans des caisses métalliques dont le fond était garni, pour les unes, de plaques calcaires, pour les autres, de plaques de grès bigarré. L'ouverture supérieure des caisses, demeurée libre, était couverte d'un grillage ; ces caisses furent exposées en plein air sur un support de 60 centimètres de hauteur. Au bout d'un an, le taux d'azote des

feuilles de chêne, qui était au début de 1,108 °/₀ de la substance sèche, s'était élevé à 1,923 °/₀ ; celui des feuilles de charme avait passé de 0,947 à 2,246 °/₀, tandis que, dans le même temps, le poids des feuilles de chêne avait diminué de 21,62 °/₀ et celui des feuilles de charme de 23,01 °/₀.

« En supposant que la perte de poids n'ait porté que sur les composés non azotés et qu'il ne se soit formé aux dépens de l'azote primitif des feuilles aucun composé ammoniacal ou nitré ou amidé soluble et entraîné par les eaux, le gain absolu d'azote serait de 4 grammes par kilogramme de substance sèche primitive pour les feuilles de chêne et de 7^{gr},8 pour les feuilles de charme, soit par hectare 13 ou 25 kilogr. d'azote, en admettant que la couverture annuelle pèse à l'état sec 3 300 kilogr. »

Déjà lorsque j'écrivais ce compte-rendu, je me proposais de faire à l'occasion quelques recherches sur ce sujet qui ne manque pas d'importance pour voir si les résultats de Henry se confirmeraient et ce qu'il adviendrait avec les feuilles de diverses essences, etc. L'exécution de ce projet fut retardée pendant plusieurs années, en partie à cause d'autres recherches, en partie parce que je voulais pousser mes investigations plus loin et les étendre notamment à la solution filtrant à travers la couverture.

Il s'agissait donc d'installer des essais dans lesquels on pût déterminer exactement non seulement les variations — relatives et absolues — du taux d'azote de la couverture, mais encore, autant que faire se pouvait, réunir les eaux d'infiltration pour y doser l'azote et cela en maintenant le plus possible les conditions et circonstances dans lesquelles Henry avait travaillé, en tant qu'elles m'étaient connues et pouvaient avoir de l'influence sur le résultat.

Ceci était assez difficile, parce que le compte-rendu français ci-dessus ne contient que de rares indications et ne mentionne pas les quantités absolues employées.

Je me servis de caisses carrées en zinc ayant 20 centimètres de côté et 10 centimètres de hauteur ; le fond était percé de trous jusqu'à une distance des parois latérales égale à 1 centimètre et demi et ce fond était muni d'un rebord de 2 centimètres pour servir de support à la caisse.

Immédiatement au-dessous de chaque caisse se trouvait un entonnoir en zinc pour rassembler toute l'eau filtrant à travers le fond percé de trous ; cette eau était réunie dans un flacon.

Les supports avaient 60 centimètres de hauteur.

On employa pour les essais huit de ces caisses avec des supports placés sur deux rangées de poutres. Sur le fond de chaque caisse on étendit une feuille de papier-filtre et dans six d'entre elles une plaque de grès bigarré ; deux caisses ne furent pas munies de ces dalles.

Les expériences ont porté sur des feuilles de chêne, de hêtre, d'épicéa, de frêne, de robinier faux-acacia.

Elles furent recueillies à la fin de l'automne de 1902 et étendues à la maison sur des claies garnies de papier pour rester à l'abri de la poussière jusqu'au moment de leur emploi. Pour le frêne et le robinier, on ne se servit que des folioles.

Les feuilles, après avoir été bien mélangées, furent divisées en deux parts ; dans l'une, on prit un échantillon qui fut broyé et sur lequel on dosa l'humidité (*a*), un autre servit à la détermination de l'azote (*b*).

En même temps on pesa une certaine quantité de l'autre moitié, qu'on plaça dans la caisse en zinc.

Les feuilles de chêne furent disposées dans deux caisses dont l'une était garnie d'une plaque de grès ; de même pour les feuilles de hêtre. C'était pour déterminer si la nature du substratum avait quelque influence. Dans trois autres caisses on plaça les feuilles de robinier, de frêne, d'épicéa sur des plaques de grès ; la dernière ne reçut pas de feuilles mortes et devait servir à déterminer la quantité d'azote combiné qui serait apportée à chaque caisse par les précipitations atmosphériques.

La disposition des caisses était donc la suivante :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Chêne.	Chêne sans plaque de grès.	Hêtre.	Hêtre sans plaque de grès.	Épicéa.	Frêne.	Acacia.	Sans feuilles mortes.

Chaque caisse fut revêtue d'un filet métallique.

Le tout fut placé à l'air libre dans le jardin derrière ma maison et y resta un an (du 6 février 1903 au 6 février 1904).

En ce qui concerne les eaux d'infiltration, on s'aperçut bientôt que, dans les conditions de l'expérience, la faculté d'imbibition des feuilles mortes et leur évaporation étaient moindres qu'on ne s'y attendait et que les quantités d'eau filtrée étaient trop grandes pour être réunies sans grosses difficultés. Aussi dut-on, après chaque pluie un peu forte, placer sur chaque caisse un petit toit laissant arriver l'air, mais non la pluie. Les résultats restaient comparables et la décomposition était à peine entravée.

Dans les eaux d'infiltration des huit caisses, on dosa l'azote chaque fois sur 250 centimètres cubes; après avoir mesuré la quantité totale, les 250 centimètres cubes furent distillés avec une dissolution de soude faiblement alcaline jusqu'à réduction à 10 ou 15 centimètres cubes dans un flacon renfermant de l'acide sulfurique titré. Celui-ci fut alors titré à nouveau avec de l'eau de baryte et on obtint l'azote ammoniacal.

Pour déterminer les nitrates et l'azote organique, on se servit de la méthode de Kjeldahl.

Quant aux feuilles mortes, à la fin de l'essai, elles furent recueillies en totalité, mises à dessécher à l'air et pesées. La moitié fut broyée grossièrement et un échantillon moyen (*c*) servit à déterminer la substance sèche.

Le reste de la moitié fut ensuite desséché à une douce chaleur, puis finement moulu, de nouveau desséché à l'air et mis dans un flacon bien bouché (*d*).

Dans les échantillons *a* et *c*, on détermina le taux de matière sèche par dessiccation à 100°, pour pouvoir connaître la quantité de matière sèche des caisses avant et après l'expérience. Sur les échantillons *b* et *d*, on dosa l'azote par la méthode Kjeldahl et aussi, comme contrôle, par le procédé Will et Varrentrapp. Les nombres ci-après sont la moyenne de plusieurs déterminations.

L'ensemble des résultats est donné dans le tableau de la page suivante.

Si nous comparons les taux d'azote de la couverture avant et après l'essai, nous voyons que le taux pour cent d'azote de la substance

	AVANT	APRÈS		Total	GAIN (+) ou perte (—) en azote		PERTE en substance sèche
		Azote dans les caisses	Azote dans l'eau d'infiltration		grammes	pour cent de matière sèche	pour cent
I Chêne (avec dalle).	70 gr. séchés à l'air = 65gr,45 séchés à 100° contenant 0,718 °/o = 0gr,418 d'azote.	60gr,95 séchés à l'air = 56gr,69 séchés à 100° contenant 0,776 °/o = 0gr,440 d'azote.	Azote total 0,0082 (azote ammoniacal 0).	0,441	— 0,007	— 0,011	9,23
II Chêne (sans dalle).	Comme ci-dessus.	61gr,70 séchés à l'air = 56gr,71 séchés à 100° contenant 0,780 °/o = 0gr,442 d'azote.	Azote total 0,0259 (azote ammoniacal 0,0170).	0,461	+ 0,013	+ 0,021	9,20
III Hêtre (avec dalle).	55 gr. séchés à l'air = 49 gr. séchés à 100° contenant 0,818 °/o = 0gr,401 d'azote.	49gr,91 séchés à l'air = 45gr,50 séchés à 100° contenant 0,905 °/o = 0gr,411 d'azote.	Azote total 0.0070 (azote ammoniacal 0,0023).	0,411	+ 0,010	+ 0,020	7,14
IV Hêtre (sans dalle).	Comme ci-dessus.	49gr,89 séchés à l'air = 45gr,47 séchés à 100° contenant 0,873 °/o = 0gr,397 d'azote.	Azote total 0,0052 (azote ammoniacal 0).	0,395	+ 0,003	— 0,012	7,20
V Épicéa (avec dalle).	320 gr. séchés à l'air = 288gr,58 séchés à 100° contenant 1,112 °/o = 3gr,209 d'azote.	280gr,10 séchés à l'air = 255gr,70 séchés à 100° contenant 1,228 °/o = 3gr,141 d'azote.	Azote total 0,0078 (azote ammoniacal 0).	3,142	— 0,067	— 0,023	11,39
VI Frêne (avec dalle).	85 gr. séchés à l'air = 75gr,78 séchés à 100° contenant 1,893 °/o = 1gr,435 d'azote.	53gr,96 séchés à l'air = 47gr,93 séchés à 100° contenant 2,733 °/o = 1gr,309 d'azote.	Azote total 0,0153 (azote ammoniacal 0,0025).	1,317	— 0,118	— 0,156	36,75
VII Robinier (avec dalle).	70 gr. séchés à l'air = 62gr,64 séchés à 100° contenant 2,891 °/o = 1gr,810 d'azote.	53gr,59 séchés à l'air = 47gr,39 séchés à 100° contenant 3,552 °/o = 1gr,683 d'azote.	Azote total 0,0470 (azote ammoniacal 0,0299).	1,723	— 0,087	— 0,139	24,35
VIII Vide (avec dalle).	»	»	Azote total 0,0072 (azote ammoniacal 0,0024).	»	»	»	»

sèche a augmenté en effet en tous les cas, mais que le taux absolu est devenu plus fort seulement dans l'un des cinq essais, et encore de bien peu, puisque dans la caisse III (hêtre avec dalle de grès) le taux d'azote n'a monté que de 40 à 41 centigrammes.

Dans tous les autres cas, le taux absolu d'azote est, au bout de l'année, non plus grand, mais plus petit et, chez quelques-uns, dans une proportion assez forte.

C'est un résultat tout autre que celui de Henry.

Pourtant cela ne démontre pas encore directement qu'il y a une perte réelle en azote pour l'ensemble de la couverture et du sol. Car il serait possible que la perte de la couverture fût compensée par des combinaisons azotées solubles passant dans le sol avec les eaux d'infiltration. Il pourrait même y avoir en somme un gain en azote combiné si la quantité finale d'azote des feuilles, jointe à celle des combinaisons azotées dissoutes et entraînées, était plus grande que la quantité d'azote existant primitivement dans les feuilles. A ce sujet, il faut interroger les eaux d'infiltration.

Mais comme les précipitations atmosphériques renferment aussi des principes azotés, il faut déduire de la somme (azote final des feuilles, plus azote des eaux d'infiltration) l'azote apporté par les pluies (d'après la caisse VIII) pour obtenir le chiffre dont la comparaison avec le taux primitif de la couverture prouvera s'il y a ou non dans la couverture en décomposition un gain en azote combiné.

Un tel gain n'a pas besoin, remarquons-le encore ici, de provenir nécessairement ou uniquement de la combinaison de l'azote libre de l'air par les microorganismes, puisque les combinaisons azotées de l'atmosphère peuvent être absorbées par la couverture en décomposition comme par le sol. Pour obtenir la quantité gagnée par la fixation, il faudrait soustraire du gain total le montant de la partie absorbée, ce qui ne peut se faire avec précision, parce que celle-ci est très variable suivant les circonstances et ne peut être déterminée d'une façon certaine.

Les eaux d'infiltration renferment (voir la troisième colonne du tableau) généralement très peu d'azote, des quantités approchant des limites d'erreur des méthodes d'analyse, à peu près de même grandeur que celles trouvées dans l'eau de la caisse VIII qui, de son

côté (si l'on ne tient pas compte de l'absorption par la dalle de pierre), ne peut contenir et donner que l'azote apporté par les pluies. C'est seulement dans quelques caisses (frêne, acacia, chêne sans dalle) que le taux d'azote des eaux d'infiltration l'a emporté sur celui des pluies, si bien que l'azote provenant des feuilles y participait sûrement.

Mais en somme, sauf dans un cas, le taux d'azote des eaux d'infiltration est trop faible pour changer sensiblement notre premier résultat obtenu par la comparaison de la couverture avant et après.

Si nous ajoutons donc l'azote de l'eau d'infiltration (déduction faite de l'azote des pluies) à celui qui se trouve dans la couverture à la fin de l'expérience et si nous comparons avec le taux primitif, nous trouvons un gain seulement dans la caisse II (chêne sans dalle), gain qui n'est que de 0gr,013 (2,95 °/₀ de l'azote primitif et 0,021 °/₀ de la substance sèche primitive).

En résumé,

Des sept essais avec feuilles mortes deux seulement, après être restés un an exposés à l'air, ont accusé un gain d'azote, mais qui, dans les deux, était trop petit (seulement 0kg,3 à 0kg,4 par hectare pour 3300 kilogr. de couverture sèche) pour avoir aucune importance, étant de la grandeur des erreurs inhérentes à la méthode.

Les cinq autres essais ont donné des déficits ; deux (caisses I et IV) sont trop faibles pour être pris en considération ; mais trois (caisses V, VI, VII) sont assez importants.

Les déficits les plus grands concernent le frêne et le robinier ; puis vient l'épicéa : ce sont les couvertures les plus riches en azote et les plus aptes à la décomposition, comme le montre la colonne 7, qui accusent les plus fortes pertes, tandis que les feuilles de hêtre et de chêne, beaucoup plus difficilement décomposables et plus pauvres en azote, ne montrent au point de vue de l'azote que des différences insignifiantes.

Comme Henry, dans les essais cités plus haut qui donnèrent des gains d'azote si accusés, avait disposé dans le fond des caisses des plaques de pierre, que celles-ci étaient peut-être essentielles pour le résultat, il ne fallait pas y renoncer, et toutes les couvertures mortes furent placées sur des dalles de grès. Pour le chêne et le hêtre, on fit

une seconde expérience sans dalles (toutes les autres circonstances restant les mêmes) pour voir si les pierres avaient ou non une influence sur le résultat. Pour le hêtre, il arriva que la caisse sans dalle donna un petit peu plus d'azote que la caisse avec dalle, tandis que ce fut l'inverse pour le chêne. Il paraît donc que la présence des dalles — du moins pour les feuilles assez difficilement décomposables — soit sans importance sur la décomposition des feuilles et sur la captation de l'azote.

Les déficits obtenus pour le frêne, le robinier, l'épicéa doivent provenir de la formation de l'azote libre par prépondérance des processus de dénitrification, si ce sont réellement des pertes en azote combiné et ce sera généralement le cas, quoiqu'il puisse arriver que de petites fractions de principes azotés soient retenues dans et sur la pierre (mécaniquement ou chimiquement) qui échapperaient à la détermination et donneraient un déficit sans qu'il y eût perte réelle pour le sol et la couverture.

Comment se fait-il que Henry arrive à des résultats qui sont presque exactement le contraire des miens ? C'est ce qu'il est difficile de dire. Je n'ai pas de renseignements plus circonstanciés sur les détails des expériences de Henry, détails qui pourraient expliquer peut-être complètement cette contradiction. Ainsi il pourrait se faire que la différence d'âge des arbres sur lesquels on a recueilli les feuilles fût la cause de ces différences.

Henry a employé pour ses premiers essais des feuilles mortes qu'il a cueillies en novembre sur de jeunes chênes et charmes, tandis que j'ai pris, également en novembre, des feuilles sur des arbres assez âgés, sauf pour l'épicéa. Je partais de cette idée que la source d'azote en question, telle qu'elle ressortait des communications de MM. Grandeau et Henry, ne pouvait être limitée aux feuilles des jeunes arbres.

Celles-ci sont d'ordinaire plus minces que celles des arbres âgés ; à cause de cela, surtout si elles sont plus riches en azote, elles peuvent se décomposer plus facilement.

Il peut arriver, d'après cela, que les feuilles de chêne de Henry qui étaient aussi plus riches en azote que les miennes aient perdu 21 °/₀ de substance sèche par la décomposition, les miennes seulement 9 °/₀.

Comme les premières accusent ce fort gain d'azote et les miennes aucun, on pourrait être porté à conclure qu'un gain d'azote important formel est lié surtout à la facilité de décomposition et à la richesse relative du feuillage en azote (tenant au jeune âge des arbres) et, d'autre part, qu'un âge plus avancé de l'arbre, une décomposition plus lente et une grande pauvreté du feuillage en azote aient pour conséquence des pertes d'azote ou un manque de gain appréciable.

Mais aussitôt l'exemple du frêne et du robinier vient contredire cette hypothèse. Leurs feuilles, tendres et riches en azote (quoique provenant d'arbres de soixante ans), se sont décomposées très facilement (leur perte en substance sèche a atteint 36 °/₀ et 24 °/₀, et s'est donc montrée plus grande que celle de feuilles de chêne de Henry) ; cependant, loin d'accuser un gain d'azote, elles ont subi une perte importante.

La décomposition rapide des feuilles de frêne et de robinier montre aussi que les circonstances extérieures auxquelles mes essais étaient soumis n'étaient pas défavorables à la décomposition, c'est-à-dire à l'existence et à la pullulation des bactéries. Ce n'est pas une faute d'opération de ce côté qui a causé l'absence de gain, voire la perte, d'azote.

La source d'azote indiquée par Henry *et relativement importante d'après les chiffres cités — source provenant de la fixation de l'azote libre de l'air par la couverture morte avec le concours des microorganismes qui augmenteraient ainsi le taux absolu d'azote — a fait complètement défaut dans mes expériences ; en tout cas, elle s'est montrée plus négative que positive.*

Elle semble donc, si elle existe réellement, n'apparaître que dans des cas particuliers ou dans certaines circonstances, et alors son importance serait beaucoup moindre que les communications à ce sujet ne le faisaient pressentir.

Plus tard, Henry a fait en apparence une restriction, car il dit, à propos d'un nouveau travail [1], dans sa seconde conclusion :

« Sur des sols siliceux très pauvres et secs, on ne constate pas

1. *Revue des eaux et forêts*, 1901, p. 33-65. Ce travail ne m'est connu que par le compte-rendu de M. le professeur Schwappach dans le fascicule d'avril 1901 de la *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen*, lorsque mes recherches étaient terminées.



d'augmentation d'azote (hêtre), ou seulement un gain insignifiant (pin, épicéa), mais jamais il n'y a eu perte d'azote. »

D'après mes résultats, je ne puis souscrire à cette phrase que « jamais il n'y a perte d'azote » (1).

---

1. Suivent deux tableaux qu'il est inutile de transcrire et qui donnent, l'un tous les chiffres relatifs aux déterminations de la substance sèche, l'autre tous ceux qui concernent les dosages d'azote. (*Trad.*)

OBSERVATIONS

SUR LE MÉMOIRE PRÉCÉDENT

Par E. HENRY

PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES EAUX ET FORÊTS

Le travail qu'on vient de lire et qui est dû au Dr HORNBERGER, professeur à l'Académie forestière de Münden, semble fait avec beaucoup de soins et ses analyses sont certainement exactes.

Comment est-il arrivé à des résultats différents des miens ?

Comment, au lieu de constater un gain plus ou moins accusé d'azote, trouve-t-il, au bout de l'année, généralement une diminution dans le taux de l'azote combiné ?

C'est ce que je désire expliquer ici brièvement.

Loin de m'étonner de la discordance de nos résultats, je suis absolument convaincu — et j'aurais dit d'avance — que, *dans les conditions où l'auteur s'est placé,* on ne pouvait que, soit retrouver tout l'azote primitif (comme dans les expériences de Kostytcheff), soit constater une petite perte tenant à la disparition à l'état d'azote libre d'une faible quantité d'azote combiné.

Les conditions dans lesquelles ont été faits mes essais sont *tout autres* que celles où s'est placé M. HORNBERGER, et ces différences suffisent largement, on va le voir, à expliquer la divergence des résultats.

Le but que je visais était celui-ci.

Depuis 1873, il avait paru en France un certain nombre de recherches sur la fixation de l'azote par le sol et les plantes.

Je citerai seulement la conclusion d'un mémoire de M. BERTHELOT, publié en 1886 : « En résumé, dit-il, dans ces expériences il y a eu fixation d'azote en proportion considérable : 1° sur les sables et sols argileux aussi bien que sur la terre végétale proprement dite, lorsque j'ai opéré en l'absence de la végétation ; 2° sur la terre et la plante réunies lorsque j'ai opéré en présence de la végétation. » Les terres médiocrement riches en azote fixent l'azote atmosphérique par l'intermédiaire de microorganismes. Tandis qu'en effet ces terres se chargent de quantités sensibles d'azote quand elles ont été abandonnées à elles-mêmes, elles cessent de s'enrichir si elles ont été portées d'abord à une température suffisante pour tuer les germes des êtres vivants qu'elles renferment ([1]).

On n'apporte jamais d'engrais à la forêt et, malgré les déperditions incessantes d'azote dues à l'enlèvement des bois exploités et aux décompositions chimiques, le sol forestier, au lieu de s'appauvrir en ce principe si essentiel à la végétation, s'enrichit, comme il est facile de le constater dans les forêts des Landes et des dunes de Gascogne, par exemple, dont le sol, avant le boisement, ne contenait que des traces infinitésimales de produits azotés.

Il est évident qu'en forêt les gains d'azote dépassent nettement, sensiblement les pertes. J'ai voulu voir si aux causes de gain déjà connues (apport aux plantes ou au sol d'azote combiné venant de l'atmosphère ou des eaux météoriques, détritus organiques retournant chaque année au sol, fixation de l'azote gazeux par les tubercules radicaux des légumineuses vivant en forêt [[2]]), il ne s'en ajoutait pas une autre tenant à la captation de l'azote gazeux par les feuilles mortes telles qu'elles tombent et se décomposent sur le sol forestier pour se transformer en humus.

KOSTYTCHEFF avait montré ([3]) que l'humus fourni par la décomposition des plantes des steppes renfermant de 1 à 2 °/₀ d'azote en con-

1. *Traité de chimie agricole*, par P. P. DEHÉRAIN, 1902, p. 11.

2. Voir mon article « L'azote et la végétation forestière » (*Annales de la Science agronomique française et étrangère*, 1897, t, II, p. 359, et *Revue des eaux et forêts*, 1897, p. 611-659).

3. Voir *Annales agronomiques*, t. XVII, p. 17.



tient 4, 5 et 6 °/₀. En abandonnant à la décomposition un poids bien déterminé de feuilles de diverses espèces après y avoir dosé l'azote, on trouve qu'après un séjour sous une cloche fermée pendant sept ou huit mois, ces feuilles ont considérablement diminué de poids, mais que la quantité d'azote constatée à l'origine n'a pas varié.

Puisque la décomposition des feuilles mortes est due en très grande partie à des microorganismes — et je l'ai démontré en 1886 (1) — que, d'autre part, cette décomposition est très active et suppose la présence de myriades de microbes, ne pouvait-il se faire qu'il y eût, parmi eux, quelques espèces capables, comme les bactéries des tubercules radicaux des légumineuses, de transformer l'azote gazeux de l'air en combinaison organique azotée?

Et comme la quantité de feuilles mortes qui tombe annuellement est considérable, oscillant entre 3 000 et 4 000 kilogr. par hectare, un gain même faible en valeur absolue se traduirait par un apport important d'azote assimilable.

C'est, comme je le dis dans mon premier article (1897), cette idée que j'ai voulu vérifier.

Mais je n'ai eu garde *de dessécher sur du papier et de laisser à la maison plus ou moins longtemps les lots de feuilles destinés aux essais.*

Après avoir cueilli les feuilles un peu avant leur chute en les touchant le moins possible, je les pesais et les déposais aussitôt dans les caisses pour conserver intacts les bactéries et autres microorganismes qui pouvaient recouvrir les feuilles. En un mot, j'ai cherché à imiter scrupuleusement ce qui se passe dans la nature.

Les bactéries sont des organismes très délicats qui perdent facilement leur faculté germinative. Par le procédé du Dr HORNBERGER, la plupart des microorganismes — quelconques — existant primitivement sur les feuilles prises en forêt ont dû périr de sécheresse. Ce matériel, *presque stérilisé,* ne pouvait évidemment fonctionner comme des feuilles normales, d'autant plus que ces feuilles ont ensuite été exposées à l'air dans un jardin de ville où elles n'ont pu recevoir les

1. Voir « Intervention des microorganismes dans la décomposition de la couverture » (*Association française pour l'avancement des sciences*. Congrès de Nancy, 1886).



microorganismes — algues ou bactéries — qui se rencontrent habituellement sous bois (1).

Il est bien certain en effet que la flore bactérienne de la forêt est tout autre que celle des champs ou des villes (2) et que, pour les champignons inférieurs comme pour les champignons supérieurs et les phanérogames, la forêt constitue une *station* bien spéciale et des mieux caractérisées.

Sur d'autres lots apportés au laboratoire, je faisais les déterminations d'eau et d'azote.

Mes premières expériences donnaient prise à quelques critiques. J'opérais dans le vaste jardin de l'École forestière peuplé d'arbres forestiers ; mais enfin j'opérais dans l'atmosphère de la ville de Nancy, pas bien loin des émanations de la cheminée de l'usine à gaz, sur des dalles de calcaire ou de grès, c'est-à-dire dans des conditions différentes de celles auxquelles sont soumises les feuilles qui tombent à chaque automne sur le sol forestier.

Pour lever tous les doutes, il fallait *se placer en forêt* même et voir ce que devenaient, au bout d'un an, les feuilles tombant sur le sol de la forêt.

C'est ce que j'ai fait dans ma seconde série d'expériences (3),

Au moment de la chute des feuilles, j'installai, le 1er novembre 1897, en pleine forêt de Haye (massif domanial de 6 000 hectares situé entre Nancy et Toul), à la pépinière de Bellefontaine, dans le

---

1. Le Dr Hornberger m'écrit que si les feuilles ont été mises à dessécher assez longtemps avant d'être employées, cela tenait à ce que les appareils n'étaient pas encore achevés. Le professeur de Münden n'a connu mes recherches que d'après un compte-rendu ; c'est ce qui explique les divergences dans le mode opératoire.

2. J'ai recueilli en même temps, dans des tubes stérilisés et avec les précautions habituelles, de la terre prise dans la forêt de Haye juste au-dessous de la couverture morte et de la terre prise en plein champ à 50 mètres de là. M. Macé, directeur du laboratoire de bactériologie de l'université de Nancy, a étudié les bactéries de ces deux tubes : « La flore bactérienne, dit-il, est très différente. Dans le sol arable, il y avait extrême abondance d'espèces à colonies mycoïdes, tandis que dans le sol de forêt ces colonies étaient très rares et que pullulaient au contraire les espèces saprophytes ordinaires. »

3. Voir mon article « Fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes en forêt. Nouvelles expériences » (*Annales de la Science agronomique française et étrangère,* 2e série, 8e année, 1902-1903, t. II).



petit enclos sous bois où se trouve l'évaporomètre, quatre cadres en bois [1] de 50 centimètres sur 50, renfermant chacun 100 grammes de feuilles de chêne, hêtre, charme, tremble et placés sur le sol même de la forêt.

Quatre autres, garnis de même, furent placés en plein air dans le jardin du brigadier. En même temps, je disposai dans le jardin de l'École forestière quatre caisses en zinc dont le fond était recouvert d'une dalle de calcaire ou de grès et munies d'un treillis métallique, plus deux caisses en bois remplies, l'une de sable pur, l'autre de craie et couvertes d'un filet en ficelle.

Il s'agissait de constater l'influence sur le phénomène étudié de ces diverses modifications dans le manuel opératoire.

L'année suivante, je me suis proposé de rechercher si les micro-organismes fixateurs d'azote (algues ou bactéries) agissaient sur les aiguilles des résineux comme sur les feuilles des arbres feuillus. Le 20 octobre 1898, j'ai cueilli des aiguilles à la veille de leur chute sur de jeunes pins noirs d'Autriche et sur des épicéas, en même temps que je récoltais les feuilles de jeunes chênes, trembles et charmes : je les ai placées en forêt dans des caisses garnies du sol même de la forêt.

J'ai eu beaucoup de mal à me garer de certaines causes perturbatrices, notamment des vers de terre et à placer les feuilles sur un sol aussi semblable que possible au sol forestier en place et dépourvu de tous les invertébrés rongeurs. Ceux-ci (les vers de terre surtout), attirés par les feuilles mortes des caisses, ont grimpé plusieurs fois le long des parois et sont venus troubler les résultats ; on ne pouvait évidemment faire état des caisses qui avaient reçu de telles visites.

J'ai eu la satisfaction de voir se confirmer, quoique dans une mesure plus restreinte, mes premiers résultats et il est très probable que si M. Hornberger s'était placé dans des conditions analogues aux miennes, il aurait obtenu des teneurs en azote différentes de

1. Je me suis servi de caisses en bois parce que le zinc entrave bien certainement la décomposition, sans doute par l'action nocive des sels de zinc sur les bactéries. (Voir les expériences de Raulin sur l'*Aspergillus*.)



celles qu'il a constatées [1]. C'est très probable ; mais ce n'est pas certain. Car il est bien évident que, suivant la répartition des micro-organismes fixateurs d'azote, répartition très inégale sûrement, suivant aussi que les circonstances extérieures (année, sol, climat, direction des vents, etc.) sont plus ou moins favorables, le gain d'azote peut varier entre zéro et un chiffre peut-être plus fort encore que le plus fort de ceux que j'ai obtenus.

Au surplus je dois avouer que, si mes résultats offraient au début quelque intérêt (il y a dix ans), ils deviennent de jour en jour moins « surprenants », depuis que les recherches de BERTHELOT, WINOGRADSKI, SCHLŒSING fils et LAURENT, BEYERINCK et ses élèves, STOKLASA, NEUMANN, BOUILHAC, GAUTHIER et DROUIN, et d'autres encore ont montré la généralité du phénomène.

Les bactériologistes ont déja découvert quelques-uns de ces microbes fixateurs d'azote. Dernièrement encore, MM. BEYERINCK et VAN DELDEN viennent de démontrer que les cultures pures d'*Azotobacter chroococcum* assimilent réellement l'azote libre de l'atmosphère. Le maximum de gain d'azote a été de 7 milligrammes pour 1 gramme de sucre consommé. M. VAN STERSON, assistant au laboratoire bactériologique de l'École polytechnique à Delft (Hollande), m'écrivait le 12 avril 1904 : « J'ai fait depuis une année une série d'analyses avec des cultures pures de ces bactéries fixatrices d'azote (*Azotobacter, Granulobacter, Aerobacter*), et j'ai obtenu des chiffres concordant d'une manière frappante avec les vôtres. »

1. Il faut aussi, pour que les bactéries ou les algues se multiplient, que le milieu reste, comme la surface du sol forestier, toujours suffisamment humide ; cette condition n'a pas dû être souvent remplie dans les petites caisses métalliques de M. HORNBERGER, dont le fond était percé de trous par où l'eau de pluie s'échappait immédiatement.

LE

CHAMP D'EXPÉRIENCES

DU PARC DES PRINCES

(1892-1897)

SIX ANNÉES D'EXPÉRIENCES DE CULTURE

PREMIÈRE SÉRIE : 1892 A 1894

Les deux buts fondamentaux de l'agriculture sont la production de denrées alimentaires et l'élevage du bétail : leur réalisation, dans une direction *économique* qu'il ne faut jamais perdre de vue, exige, avant tout, la connaissance aussi complète que possible des conditions multiples de la nutrition des être vivants. On peut dire, en effet, que l'art de l'agriculteur réside tout entier dans la mise en œuvre des procédés dont la résultante sera la production, avec le minimum de dépense, du maximum de grain, de paille, de fourrages, de viande et d'autres denrées utilisables par l'homme. Tout, dans la pratique agricole comme dans les recherches physiologiques entreprises en vue de leurs applications à l'agriculture, doit donc converger vers la transformation aussi économique que possible des matières premières en substance vivante.

Si complexe que puisse paraître et que soit, en effet, le problème

de la nutrition de l'animal, il est aisé de se convaincre, lorsqu'on y réfléchit, que, dans la pratique tout au moins, il présente moins de difficultés que celui de la nutrition de la plante. Si nous pouvons plus aisément résoudre expérimentalement le problème de l'alimentation du bétail, cela tient aux différences essentielles des conditions et notamment des milieux où s'accomplissent les actes de la nutrition dans ces deux grands groupes d'êtres vivants. Les animaux sont, pour ainsi dire, sous le rapport de la nutrition proprement dite, absolument indépendants du milieu extérieur auquel ils n'empruntent que l'oxygène. Les végétaux, au contraire, immuablement fixés dans le sol, dépendent dans une étroite limite des qualités de celui-ci.

Ce trait différentiel fondamental du mode d'alimentation des plantes et des animaux demande quelques explications.

L'animal constitue ses tissus et ses organes à l'aide des éléments d'un liquide toujours identique à lui-même chez le même individu, le sang, *milieu nutritif intérieur,* suivant la juste expression de Claude Bernard.

Les aliments forment la matière première de ce liquide. Élaborés par l'acte digestif, dont le régulateur est le système nerveux, les aliments, quelle qu'en soit la diversité, se transforment en un liquide homogène qui devient la source où l'animal puise les éléments indispensables à la reconstitution de ses tissus : en définitive, le milieu nutritif est *un* chez l'animal, identique à lui-même, quel que soit l'aliment qui le produit : c'est le sang.

Pour le végétal, les conditions sont autres : son milieu nutritif, le sol, est essentiellement variable dans sa constitution : tandis que l'animal met en œuvre, pour se nourrir, trois ou quatre groupes de substances de composition intime, presque identique dans les fourrages les plus divers : matières protéiques, graisses, sucres ou féculents, la plante rencontre dans le sol les combinaisons minérales les plus variées et possédant une valeur nutritive essentiellement différente, alors même qu'elles sont formées des mêmes éléments chimiques.

Il suit de là que, lorsqu'on a déterminé, dans un aliment, sa teneur en albumine, en amidon, en sucre et en graisse, on peut, *a priori,*

calculer, presque rigoureusement, les quantités de cet aliment qui suffisent à l'animal pour réparer l'usure de ses organes et en entretenir le fonctionnement régulier. Passe-t-on d'un aliment à un autre, on n'aura, pour modifier le poids de la ration, qu'à faire intervenir la richesse plus ou moins grande en ces divers principes nutritifs de l'aliment que l'on veut substituer au premier. De plus, on est absolument maître des quantités d'aliments qu'on administre à l'animal. On comprend donc qu'il soit possible d'arriver à tracer des règles presque absolues pour le rationnement des animaux, suivant les divers produits qu'on leur demande : travail, viande, lait, etc., et la nature des aliments dont on a le choix.

En culture, il en va tout autrement. La diversité de composition des sols, l'état sous lequel ceux-ci offrent aux plantes leurs éléments nutritifs, l'impossibilité où se trouve l'agriculteur de faire, à son gré, absorber aux végétaux des quantités d'aliments, variables à sa volonté, sont autant de conditions qui compliquent singulièrement le problème de l'alimentation des récoltes. Il est donc presque impossible de donner *à l'avance,* c'est-à-dire sans expérience directe, des *formules* de fumure, comme on dresse des tables de composition de rations pour les animaux. Mais au moins, dira-t-on, l'analyse du sol devra suffire à nous guider dans la fixation des fumures, comme l'analyse des aliments nous sert de règle pour la composition des rations du bétail. Ce raisonnement n'est pas juste : d'une part, parce que l'analyse du sol, dans l'état de nos connaissances, nous renseigne insuffisamment sur la nature intime et sur l'état de combinaison des matériaux qui le constituent ; de l'autre, parce que nous ne pouvons pas régler les quantités d'aliments que la plante absorbera, comme nous sommes maîtres de le faire lorsqu'il s'agit des animaux.

L'analyse du sol, cependant, est d'une grande importance, en un point surtout : elle nous indique si une terre contient ou non de l'acide phosphorique, de la potasse, de l'azote, etc. ; elle nous apprend, de plus, en quelle proportion ces éléments nutritifs s'y trouvent ; mais elle nous enseigne peu de chose sur leur *degré d'assimilabilité* par la plante. L'analyse est muette en ce qui concerne la quantité réelle de principes nutritifs que leur état de combinaison

rendra immédiatement utilisables par la plante. C'est l'expérience culturale qui nous fixera le mieux sur ce point capital.

Ce qui est vrai des principes nutritifs du sol, l'est tout autant des éléments qu'apportent les matières fertilisantes ; là encore l'expérience seule pourra prononcer d'une manière certaine et nous guider dans le choix de nos fumures. Les notions positives que nous possédons sur la valeur relative des divers engrais nous viennent toutes des expériences auxquelles on les a soumis ; c'est grâce aux nombreux essais culturaux entrepris depuis vingt-cinq ans environ que nous pouvons, pour quelques substances fertilisantes, préciser leur valeur nutritive et fixer approximativement les quantités de chacune d'elles à appliquer aux principales cultures. Mais il reste beaucoup encore à apprendre, tant sur la valeur intrinsèque des divers engrais que touchant l'influence de leur mode d'introduction et de répartition dans le sol, sur leur action fertilisante.

Dans quelle limite est-on légitimement en droit de tirer d'essais culturaux faits sur l'échelle nécessairement restreinte qu'un champ d'expériences ne peut dépasser, des conclusions applicables à la grande culture ? Quels sont les enseignements certains que la pratique agricole doit attendre de l'expérimentation scientifique ? Telles sont les deux questions, dont l'importance n'exige pas de démonstration, que nous désirons examiner avant d'entrer dans le détail des résultats de nos cultures expérimentales au Parc des Princes et d'en aborder la discussion.

Les recherches expérimentales constituent la tâche principale des stations agronomiques ; aucune peine ne doit être épargnée pour en déterminer aussi rigoureusement que possible toutes les conditions, pour en régler l'exécution avec une précision que le praticien ne saurait atteindre dans son exploitation. Cette nécessité de laisser à l'inconnu et aux causes d'erreur aussi peu de place que le permettent les difficultés de l'expérimentation sur les êtres vivants, oblige ceux qui s'y adonnent à restreindre à des surfaces relativement faibles les essais de culture dont ils peuvent arriver ainsi à préciser toutes les conditions d'exécution. Il faut qu'un champ d'expériences ait assez d'étendue pour que les procédés de la grande culture y soient relativement applicables ; mais il n'importe pas moins que les parcelles

destinées à des essais comparatifs demeurent assez petites pour écarter notamment les différences de sol inévitables lorsqu'on opère sur de grandes surfaces. C'est en tenant compte de cette double nécessité que nous avons fixé à 25 ares environ l'étendue du champ soumis, au Parc des Princes, à nos essais méthodiques de culture et à 150 mètres carrés la dimension de chacune des parcelles consacrées à un essai spécial. Pour qui sait les difficultés qu'on éprouve à rencontrer une surface d'un quart d'hectare à peu près homogène, au double point de vue des propriétés physiques et de la composition chimique du sol, ces dimensions paraîtront aussi convenables que possible.

La possibilité de tenir un compte à peu près rigoureux de toutes les conditions d'un essai fait sur cette échelle a pour conséquence de donner aux résultats numériques obtenus une valeur qui ne serait pas atteinte dans la culture de la même plante sur une étendue de plusieurs hectares, à raison des écarts de composition du sol, de la répartition moins égale des fumures, des imperfections de culture, de récolte, de pesées des produits, etc. Le champ d'expériences bien conduit fournit donc, sur l'ensemble des conditions de la production végétale et sur chacune d'elles en particulier, des données dont la portée dépasse les indications de la grande culture. En revanche, et pour les mêmes motifs, on n'est pas toujours autorisé à appliquer sans restriction, à la grande culture, les résultats obtenus dans le champ d'expériences. Si ce dernier a été bien dirigé il donnera, à surface égale, des rendements *supérieurs* à ceux qu'on obtiendra par l'application en grand des mêmes fumures.

Le champ d'expériences nous fait connaître les maxima de rendement qu'on peut atteindre dans les conditions spéciales de sol et de climat où il est situé. Il renseigne le praticien sur la valeur relative des divers états auxquels on met les principes fertilisants à la disposition des végétaux, sur l'influence de certaines opérations culturales, labours, défoncement, mode de semailles, etc., en lui indiquant la récolte maximum à attendre d'une terre donnée, pour la culture de laquelle on a réuni le plus complet ensemble de conditions favorables et rigoureusement étudiées. En résumé, c'est dans le champ d'expériences qu'on peut apprendre à connaître le mieux les relations fondamentales de diverses plantes avec le sol et avec les différents

engrais ; mais, pour s'éviter des mécomptes, le praticien ne doit pas oublier que les enseignements fournis par les essais culturaux seront d'autant plus profitables pour lui qu'il se rapprochera davantage, dans ses cultures, des conditions que les expérimentateurs s'efforcent de remplir et qui concourent, on va le voir, dans une si large mesure à l'élévation des rendements de la terre.

Nous nous sommes proposé d'entreprendre l'étude de diverses cultures *en sol pauvre* et de rechercher les conditions économiques de l'obtention de rendements élevés, dans une terre que sa composition originelle permet de classer au nombre des moins fertiles.

Le terrain du champ du Parc des Princes appartient à la couche qui a reçu des géologues le nom de sables de Beauchamp. Sa composition physico-chimique, déterminée sur le sol séché à l'air, est la suivante :

Eau	1,08
Sable	93,40
Argile	3,20
Calcaire	1,64
Humus	0,10
Matières solubles dans l'eau acidulée	0,58
Total	100,00

Le poids du mètre cube est de 1 550 kilogr.

La terre fine entre dans la composition du sol pour 85 °/₀ ; le reste, 15 °/₀, est formé de cailloux siliceux.

La composition chimique du sol pour cent de terre fine séchée à l'air est la suivante :

Eau	1,080
Matières organiques	1,620 [1]
Acide phosphorique	0,045
Acide sulfurique	0,082
Chlore	0,002
Chaux	0,920
Magnésie	0,080
Potasse	0,019
Alumine et oxyde de fer	1,245
Silicates insolubles	94,400
Acide carbonique et matières non dosés	0,507
Total	100,000

1. Dont 0,068 d'azote.

Il s'agit, on le voit, d'un sol sableux, poreux, sec, très pauvre en humus, en azote, en acide phosphorique et en potasse, faiblement calcaire ; en somme, le terrain du champ d'expériences est éminemment pauvre en éléments nutritifs ; il se prête donc, on ne peut mieux, à l'étude expérimentale des fumures commerciales.

Nos études ont porté, dès la première année, sur les trois principes fondamentaux des engrais : azote, acide phosphorique et potasse. Le sol renferme de la chaux et de la magnésie en quantité suffisante ; sa richesse en ces éléments se trouvera d'ailleurs accrue par l'apport des matériaux calcaires et magnésiens associés naturellement aux phosphates et aux sels de potasse employés.

L'un des principaux objectifs que nous avons en vue dès le début, dans nos essais culturaux au Parc des Princes que nous poursuivons depuis 1892 sur diverses récoltes, est l'étude expérimentale de la valeur agricole des diverses formes sous lesquelles la nature et l'industrie mettent l'acide phosphorique à notre disposition. La question est encore vivement controversée : son importance est extrême pour le praticien, à raison du prix très différent de l'acide phosphorique suivant son état de combinaison. De toutes les matières fertilisantes, le phosphore est, pour l'agriculture française, la plus importante. Presque tous les sols français sont insuffisamment pourvus en phosphates, à en juger non seulement par leur analyse, mais surtout par les excédents de récolte que produit presque partout l'emploi des engrais phosphatés.

Nous rappellerons d'abord les sources naturelles de l'acide phosphorique minéral. Elles peuvent être ramenées à trois principales, savoir : 1° les phosphates naturels cristallisés qu'on désigne sous le nom d'apatites (le phosphate de chaux y est associé à des quantités minimes de fluorure de calcium) ; 2° les phosphates amorphes, connus sous diverses dénominations — coprolithes, phosphates en roches, etc. Ils sont constitués par l'association du phosphate de chaux à du carbonate ou à des silicates calcaires plus ou moins argileux ; 3° les phosphates de la craie et la craie phosphatée, dont les types les plus remarquables sont fournis par les gisements de la Somme et de la Belgique. Tous ces minéraux sont formés de phosphate tribasique de chaux, dont la proportion varie, suivant les gise-

ments, de 20 à 80 °/₀, associé à l'argile, au carbonate de chaux et à la silice.

La poudre d'os, les os verts ou dégélatinés, le phosphate dit précipité, enfin les scories de déphosphoration de l'acier complètent la liste des matériaux phosphatés dont l'acide est à l'état de combinaison insoluble dans l'eau. Dans les phosphates naturels et dans les os, l'acide phosphorique est uni à la chaux dans la proportion d'un équivalent du premier pour trois du second (PhO^5 3CaO), ce qui veut dire que 71 grammes d'acide phosphorique sont combinés à 84 grammes de chaux, pour former 155 grammes de phosphate *pur*. Dans le phosphate précipité, un équivalent d'acide est uni à deux seulement de base (PhO^5 2CaO), soit 71 grammes d'acide pour 56 grammes de chaux donnant 127 grammes de phosphate. Enfin, les scories nous offrent un phosphate de constitution particulière, un équivalent d'acide s'y trouvant combiné à quatre équivalents de chaux (PhO^4 4CaO), 71 grammes d'acide unis à 112 grammes de chaux donnant 183 grammes de phosphate.

Tous les phosphates minéraux, ainsi que les os, traités par l'acide sulfurique, se transforment en phosphate de chaux à un seul équivalent de base, entièrement soluble dans l'eau et constituant le produit industriel connu sous le nom de superphosphate de chaux.

Le phosphate précipité et celui des scories, insolubles dans l'eau, sont solubles plus ou moins complètement dans certains réactifs particuliers : acide citrique, citrate d'ammoniaque.

En résumé, l'agriculteur a le choix, pour ses fumures, entre trois formes principales de phosphates : ceux dont l'acide est insoluble dans l'eau et dans le citrate (phosphates minéraux), ceux dont l'acide, insoluble dans l'eau, se dissout plus ou moins complètement dans l'acide citrique ou le citrate d'ammoniaque (phosphate précipité et scories), et le superphosphate dont l'acide est à la fois soluble dans l'eau et dans le citrate.

Le prix vénal de l'acide phosphorique est très différent dans ces divers états chimiques ; il varie, par kilogramme d'acide supposé pur, de 50 à 60 cent. dans le superphosphate et dans le phosphate précipité, de 32 à 60 cent. dans les scories et de 22 à 25 cent. dans les phosphates minéraux de richesse moyenne (40 à 60 °/₀

de phosphate de chaux pur). Les phosphates minéraux titrant plus de 65 °/₀ sont généralement réservés à la fabrication des superphosphates et sont peu employés directement à la fumure des champs.

La valeur agricole des diverses formes d'acide phosphorique dépend essentiellement de leur degré d'assimilabilité par les plantes des matériaux phosphatés confiés au sol.

La détermination comparative de ce degré d'assimilabilité, fort diversement apprécié par les agriculteurs, constitue donc un problème de premier ordre pour le choix des fumures, l'unité d'acide phosphorique variant, dans le rapport de 1 à 3 environ, dans les divers matériaux phosphatés. C'est la solution expérimentale de ce problème qui forme l'un des objets principaux de nos études au champ du Parc des Princes.

La plupart des agronomes regardent comme très pauvre un sol qui ne contient pas au moins *un millième* de son poids (0,1 °/₀) de chacun des principes fertilisants essentiels : azote, acide phosphorique, potasse. Le sol du champ d'expériences du Parc des Princes devrait, suivant cette opinion, être rangé dans la catégorie des terres extrêmement pauvres, puisque, nous l'avons vu plus haut, sa teneur en azote (0,068 °/₀), en acide phosphorique (0,045 °/₀) et en potasse (0,019 °/₀) est très notablement inférieure aux proportions minima que nous venons de rappeler.

De plus, l'absence presque complète d'humus ajoute encore aux conditions défavorables que présente le terrain. Il serait difficile de rencontrer un sol qui se prête mieux, en raison même de sa pauvreté, que celui de ce champ, à des expériences méthodiques de fumure. Lorsqu'on arrive à obtenir économiquement des rendements un peu élevés dans des essais de culture, la démonstration de l'influence de la fumure est d'autant plus probante que le sol était primitivement plus pauvre ; les résultats des campagnes de 1892 à 1897 paraîtront sans doute intéressants sous ce rapport.

Donnons d'abord quelques indications sur la fumure [1]. En vue

---

1. Le terrain d'expériences du Parc des Princes fait partie de l'enclos de la station physiologique du Collège de France. Il a été gracieusement mis à ma disposition par mon éminent et regretté ami Marey, avec l'assentiment de M. le préfet de la Seine. De



d'apporter au sol un peu de matière organique, nous avons fait répandre avant le dernier labour sur chacune des parcelles, sauf sur les parcelles témoins, du fumier d'étable très pailleux, à la dose de 300 kilogr. par are. Ce fumier frais a été enfoui à la bèche, à une profondeur de 0m,20 à 0m,25 en même temps que l'engrais minéral épandu très régulièrement à la main sur chacune des parcelles.

La fumure minérale a consisté dans les proportions suivantes des trois éléments principaux :

	QUANTITÉS rapportées à l'hectare
	kilogr.
Acide phosphorique	300
Potasse	200
Azote	45

L'azote, sauf dans deux parcelles dont nous parlerons plus loin, a été donné en 1892 sous forme de nitrate de soude ; la potasse à l'état de kaïnite, et l'acide phosphorique a été fourni : par des phosphates naturels en poudre fine, de provenances diverses, par des scories de déphosphoration de richesse inégale, par du phosphate précipité et par du superphosphate. La proportion de chacun de ces phosphates a été calculée, d'après leur teneur réelle en acide phosphorique, de telle façon que chacune des parcelles reçoive une quantité rigoureusement égale d'acide phosphorique (3 kilogr. par are) sous des formes différentes. On voit, d'après cela, qu'une seule condition a varié dans la fumure, à savoir la forme sous laquelle l'acide phosphorique a été mis à la disposition des plantes.

Dans deux parcelles seulement, nous avons modifié la nature de la fumure azotée, afin de comparer l'influence du sulfate d'ammoniaque et celle de l'azote organique (sang desséché) à celle du nitrate de soude. Ces deux parcelles avaient, cela va sans dire, reçu l'acide phosphorique et la potasse sous les mêmes formes que la parcelle correspondante additionnée de nitrate.

Nous avons donc pu comparer, dans cette première année d'expé-

---

tout temps inculte, ce terrain, couvert de la végétation propre aux sols siliceux, a été défoncé, dans l'hiver de 1891-1892, à la profondeur de 0m,60 à 0m,70 et soigneusement nivelé.

riences : 1° la valeur relative des différentes formes d'acide phosphorique associé en quantités égales à un même poids de nitrate de soude et de sulfate de potasse ; 2° la valeur comparative du nitrate de soude, du sulfate d'ammoniaque et de l'azote organique.

Pour permettre au lecteur de se faire une idée nette des conditions présentées par les diverses fumures, tant sous le rapport de leur composition que sous celui des quantités employées et du prix de revient de chacune d'elles, nous allons indiquer la teneur de chaque engrais en matières fertilisantes et le poids de chacun d'eux correspondant à 300 kilogr. d'acide phosphorique, 200 kilogr. de potasse et 45 kilogr. d'azote à l'hectare. L'analyse nous a fourni les résultats suivants :

Composition des engrais employés.

I. Engrais phosphatés.	ACIDE phosphorique °/o
1. Scories de déphosphoration :	—
Provenance anglaise	12,29
Aciéries du Nord et de l'Est	21 »
2. Phosphates minéraux en poudre fine :	
Phosphate du Portugal	26,37
— de la Floride	36,86
— du Boulonnais	18,94
— de la Somme, 75/80	34,30
— — 45/50	23,29
— du Cambrésis	18,94
— des Ardennes	18,17
— de l'Indre	22,78
3. Superphosphate de chaux	14,59
4. Phosphate précipité	35,58
II. Engrais azotés.	AZOTE °/o
Nitrate de soude	15,85
Sulfate d'ammoniaque	20 »
Sang desséché	9 »
III. Engrais potassique.	POTASSE °/o
Kaïnite de Stassfurt	12,73

La richesse des phosphates employés a donc varié dans de

larges limites : de 12,29 à 36,86 °/₀, soit un écart de 24^{kg},57 d'acide phosphorique par 100 kilogr. de matière première et une variation de 1 à 3 en allant de l'engrais le plus pauvre au plus riche. La quantité réelle d'acide phosphorique donnée devant être la même dans chaque parcelle (300 kilogr. à l'hectare), les poids de phosphates ont donc dû varier dans le rapport inverse de leur teneur en acide phosphorique.

Le tableau suivant indique les quantités de chacun des engrais employés à l'hectare et par parcelle de 150 mètres carrés.

Quantités de phosphates correspondant à 300 kilogr. d'acide phosphorique, à l'hectare et à 150 mètres carrés.

	A l'hectare	PAR parcelle
	kilogr.	kilogr.
Scories anglaises.	2 441,0	36,60
— des Aciéries de l'Est . .	1 428,5	22,43
Phosphate du Portugal.	1 137,6	17,06
— de la Floride	813,8	12,21
— du Boulonnais. . . .	1 583,9	23,76
— de la Somme 75/80. .	874,6	13,12
— — 45/50. .	1 288,1	19,32
— du Cambrésis	1 583,9	23,76
— des Ardennes	1 651,0	24,76
— de l'Indre.	1 316,9	19,75
Superphosphate.	2 056,0	30,84
Phosphate précipité.	843,1	12,65

45 kilogr. d'azote à l'hectare.

Nitrate de soude	281,0	4,260
Sulfate d'ammoniaque	225,0	3,375
Sang desséché	500,0	7,500

Potasse. — 200 kilogr. à l'hectare.

Kaïnite	1 571,0	23,56

Potasse. — 100 kilogr. à l'hectare.

Kaïnite	785,5	»

Nous examinerons plus loin le coût de chaque fumure.

Seize parcelles, d'une superficie égale à 150 mètres carrés, ont

été consacrées à la culture de la même variété de pommes de terre. Celle-ci était une hybride de la Richter's imperator et de la gloire du Chili, obtenue en 1886 à Valleyres-sous-Ursin, près Yverdon, dans le canton de Vaud. Cette variété, que nous avions importée en 1891 et fait cultiver dans un champ d'essai installé à l'école d'horticulture de la Seine, à Villepreux, avait donné environ dix-sept fois la semence.

Les plantons de pommes de terre, parfaitement choisis, étaient de forme régulière, d'un poids variant de 120 à 150 grammes ; ils ont été plantés entiers le même jour dans toutes les parcelles (26 avril 1892). Cette date un peu tardive nous est imposée par les conditions locales ; le climat du Parc des Princes est humide et froid, les gelées du mois d'avril 1892 ont été fréquentes et assez fortes, aussi redoutions-nous une plantation hâtive qui eût fait coïncider l'apparition des premières feuilles avec un abaissement brusque de température.

La plantation a été faite dans les seize parcelles d'expériences à 1 mètre d'écartement en tous sens, entre chaque plant. Nous avions, pour choisir cet écartement exagéré, deux motifs principaux : en premier lieu, nous voulions rendre facile le nettoyage répété du sol à la houe à main, le terrain étant, au moment de son défrichement, infesté de chiendent; de plus, ne connaissant pas la fertilité du champ mis en culture pour la première fois, nous voulions par un espacement considérable permettre à chacune des trochées de pommes de terre de développer ses organes souterrains sans être gênées en rien par les plants voisins. Nous verrons, d'ailleurs, que d'autres essais ont été faits simultanément sur l'influence de l'espacement.

A priori, malgré les quantités considérables d'engrais que nous avions enfouies dans le sol, il est facile de se convaincre que le terrain du champ d'expériences demeurait très pauvre encore en éléments fertilisants, si on le compare aux sols réputés de médiocre fertilité. Il n'est pas sans intérêt de s'arrêter un instant à la composition du sol au moment de la plantation, c'est-à-dire après l'enfouissement des quantités de fumier d'étable, de phosphate, de nitrate et de sels de potasse indiquées précédemment. Si l'on additionne les quantités de chacun des trois éléments fondamentaux

existant dans le sol primitif, apportées par le fumier d'étable et par les engrais minéraux, voici à quels résultats on arrive, pour exprimer la teneur de 100 parties de terre en chacun d'eux :

	PAR 100 PARTIES DE SOL		
	Acide phosphorique	Potasse	Azote
Dans le sol	0,0450	0,0190	0,0680
Dans le fumier.	0,0026	0,0048	0,0039
Dans les engrais minéraux.	0,0097	0,0064	0,0014
Total pour 100. . ..	0,0573	0,0302	0,0733

Après fumure, le sol du champ d'expériences se trouva donc contenir environ *moitié* de l'acide phosphorique existant dans une terre réputée médiocrement fertile, *un tiers* seulement de la quantité de potasse et les deux tiers de la quantité d'azote que beaucoup d'agronomes considèrent comme le minimum de ce que doit renfermer une terre pour être moyennement fertile.

Si l'on compare les quantités de chacun des trois principes fertilisants naturellement contenues dans le sol à celles que la fumure a apportées, on trouve que les engrais ont introduit 28,3 °/₀ seulement de la quantité primitive d'acide phosphorique existant dans le terrain ; moins de 60 °/₀ du taux de potasse et 12 °/₀ à peine du poids initial d'azote.

Or, nous allons voir que ces faibles apports d'engrais ont, dans certains cas, triplé le rendement naturel du sol ; nous sommes donc en droit de conclure, une fois de plus, que le chiffre brut, décelé par l'analyse, des poids d'acide phosphorique, de potasse ou d'azote d'une terre, n'implique pas, même approximativement, son degré de fertilité, celui-ci dépendant, avant tout, de l'*état* sous lequel le sol offre aux plantes les éléments de leur nutrition. Il n'est pas douteux que le plus grand nombre des agronomes auxquels on demanderait leur opinion sur la fertilité probable d'une terre contenant 0,057 °/₀ d'acide phosphorique, 0,03 °/₀ de potasse et 0,073 °/₀ d'azote, classeraient cette terre au nombre des moins fécondes. Cependant la récolte du champ d'expériences va nous montrer le mal-fondé d'une semblable conclusion.

Toutes les opérations culturales : binages, buttages, arrosages au besoin (1), ont été faites avec soin; la maturation des pommes de terre a été très lente et la récolte n'a pu être faite que du 20 au 24 octobre dans les diverses parcelles (2). La pesée de la récolte a été exécutée avec toute l'approximation possible, la nature du sol rendant facile la séparation de la terre adhérente aux tubercules au moment de l'arrachage. Le tableau de la page 252 indique : dans la première colonne, les rendements rapportés à l'hectare ; dans la deuxième, les excédents de rendements, par rapport au rendement moyen des parcelles sans fumure. Les parcelles témoins, I et XVI, se trouvent aux deux extrémités du champ d'expériences : la parcelle I était, avant le défrichement, couverte de genêts et autres végétaux spontanés ; la parcelle XVI avait été précédemment cultivée par les pépiniéristes de la ville ; cette différence de traitement des deux parcelles explique sans doute la supériorité du rendement de la parcelle XVI sur celui de la parcelle I, toutes deux n'ayant reçu aucune fumure lors de l'installation de nos expériences.

La parcelle I a donné 8 830 kilogr. de tubercules à l'hectare.

La parcelle XVI a donné 11 870 kilogr. de pommes de terre à l'hectare.

La moyenne des deux : 10 085 kilogr., soit en nombre rond : 10 tonnes.

On remarquera, en passant, que ce chiffre, qui dépasse notablement le rendement moyen de la pomme de terre en France, prouve qu'un labour profond, des soins culturaux convenables et le choix d'une variété prolifique permettent d'obtenir du sol le plus médiocre, chimiquement parlant, une récolte relativement bonne avec des semences de choix, et lorsqu'on espace les plants pour fournir à chacun d'eux un milieu d'expansion considérable. Nous reviendrons plus tard sur ce fait très important.

1. La canalisation que nous avons fait exécuter au champ d'expériences permet l'arrosage à la lance des diverses parcelles, condition indispensable pour les essais de culture potagère en sol sableux et sec, comme l'est celui de Boulogne.

2. La variété Richter's Beney est d'ailleurs très tardive, ce qui doit en faire rejeter la culture dans les climats froids, où elle mûrit difficilement.



Arrivons à la récolte de 1892. Nous adopterons le classement par ordre de rendement décroissant. En soustrayant 10 000 kilogr. des chiffres inscrits dans la première colonne, on obtient ceux de la seconde qui expriment, comme nous l'avons dit, les excédents à l'hectare, dus exclusivement à la fumure, puisque seule cette condition a varié d'une parcelle à l'autre :

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES ENGRAIS	RENDEMENT à l'hectare	EXCÉDENT à l'hectare
—	—	— kilogr.	— kilogr.
X.	Phosphate de la Somme, riche. . .	29 210	19 210
XI.	Phosphate de la Floride	28 400	18 400
XII.	Scories Est ; nitrate.	27 885	17 885
VII.	Scories Est ; sulfate ammoniaque .	26 330	16 330
VI.	Phosphate du Cambrésis.	26 317	16 317
III.	Phosphate des Ardennes.	25 730	15 730
V.	Phosphate de l'Indre	25 210	15 210
XV.	Superphosphates.	25 200	15 200
IV.	Phosphate du Boulonnais.	24 810	14 810
XIV.	Phosphate précipité.	23 860	13 860
IX.	Phosphate du Portugal	23 710	13 710
XIII.	Scories anglaises.	23 433	13 433
VIII.	Scories Est et sang	20 233	10 233
II.	Phosphate de la Somme, 45/50 . .	18 000	8 000

L'accroissement de fertilité du sol du Parc des Princes a donc varié, dans cette première année, pour la pomme de terre plantée à 1 mètre de distance, de 80 à près de 300 °/₀₀ suivant la nature du phosphate employé. Le premier fait qui se dégage nettement des résultats constatés ci-dessus est que, conformément à ce que nous avons observé depuis vingt ans, dans nos essais de culture *en sol siliceux,* les phosphates minéraux en poudre fine donnent, à dose égale d'acide phosphorique, des rendements égaux et souvent supérieurs à ceux que fournissent les engrais phosphatés plus ou moins solubles.

Nous reviendrons sur cette importante question après avoir exposé les résultats obtenus, en 1892, dans les parcelles plantées avec la même variété de pommes de terre, mais à des espacements différents et sur les rendements de vingt-neuf variétés nouvelles de pommes de terre cultivées dans un sol identiquement fumé.

Les excellents résultats dus à l'emploi des engrais phosphatés dans tous les sols et pour toutes les cultures, à de très rares exceptions près, ne font doute pour aucun agriculteur, tant soit peu observateur. L'augmentation très notable des rendements en céréales, prairies, plantes sarclées, etc., sous l'influence de fumures phosphatées judicieusement appliquées, c'est-à-dire associées aux engrais azotés et aux sels de potasse lorsque le réclame la nature du sol, est un fait absolument acquis et sur lequel on ne saurait trop insister auprès des cultivateurs, nombreux encore, qui demandent au seul fumier de ferme, parcimonieusement employé dans bien des cas, le maintien de la fertilité de leurs terres. Mais, si la bienfaisante action des engrais phosphatés, due à ce que la presque-totalité de nos sols arables est insuffisamment pourvue d'acide phosphorique, est hors de conteste pour tous les praticiens éclairés, beaucoup d'agriculteurs et d'agronomes sont loin d'attribuer aux différentes formes d'acide phosphorique la même valeur agricole. Certains même, et des plus distingués, vont jusqu'à refuser à telle ou telle matière phosphatée le rôle de fertilisateur.

Ces divergences d'opinions, lorsqu'elles s'appuient sur des faits bien observés, ne peuvent s'expliquer que par la diversité des conditions dans lesquelles se sont placés les expérimentateurs ; l'un des plus grands services à rendre à l'agriculture consisterait dans l'étude méthodique, sur un plan uniforme pour chaque grande catégorie de sols, des conditions d'assimilation, par les végétaux de la grande culture, des différentes formes que revêtent dans les engrais les combinaisons phosphatées. Une entente entre les directeurs des stations agronomiques, les professeurs départementaux chargés de l'organisation des champs d'expériences et les agriculteurs qui voudraient s'associer à eux pour l'étude de cette question capitale, conduirait sans nul doute à des résultats du plus haut intérêt.

Les expériences de laboratoire sont insuffisantes pour résoudre le problème ; des essais culturaux, dans lesquels il est tenu un compte rigoureux de toutes les conditions qu'offre la pratique d'une exploitation, peuvent seuls arriver à expliquer les divergences d'opinion auxquelles nous faisons allusion, et fixer le choix à faire entre les

différentes formes d'acide phosphorique, d'après la nature du sol et les conditions variées de la culture qu'on a en vue.

Les engrais phosphatés commerciaux, d'un emploi courant, forment, on le sait, d'après l'état de combinaison où s'y trouve l'acide phosphorique, cinq groupes principaux :

1° *Phosphates minéraux naturels*, dans lesquels le phosphate tribasique de chaux, insoluble dans l'eau et dans le citrate d'ammoniaque est associé, suivant les cas, à des quantités variables de silices d'alumine, de carbonate de chaux, etc. Leur état d'agrégation physique varie également : tantôt ils sont amorphes, tantôt plus ou moins cristallins.

2° *Phosphate précipité*, formé en majeure partie de phosphate bibasique de chaux, obtenu industriellement par la précipitation de l'acide phosphorique préalablement dissous. La plus grande partie de l'acide de ces phosphates est soluble dans le citrate d'ammoniaque, mais insoluble dans l'eau.

3° *Superphosphates*. — L'acide phosphorique y existe, presque entièrement à l'état soluble dans l'eau ; ils proviennent du traitement des phosphates minéraux ou des os par l'acide sulfurique et contiennent une notable quantité de sulfate de chaux (plâtre). Le taux d'acide phosphorique soluble des superphosphates varie de 10 à 45 °/₀.

4° *Scories de déphosphoration*, dans lesquelles l'acide phosphorique est combiné à une quantité de chaux plus grande que dans les phosphatés naturels et qui renferment, en outre, 45 à 50 °/₀ de leur poids de chaux, dont une partie à l'état caustique. Ces scories proviennent de la transformation industrielle de la fonte de fer en acier par le procédé Thomas-Gilchrist.

A laquelle de ces catégories de phosphates, dont la valeur vénale est très différente, les cultivateurs doivent-ils donner la préférence ? Tel est le point essentiel à élucider par des expériences culturales dans des conditions nettement définies. Pour notre part, nous nous sommes attachés depuis une vingtaine d'années à étudier l'assimilation des différentes formes d'acide phosphorique par les plantes, en *sols siliceux* presque complètement dépourvus de calcaire, et les résultats constants de nos essais de culture, tant dans nos champs d'expériences que dans un domaine d'environ 400 hectares que

l'un de nous possède dans l'Est, nous ont conduits à attribuer aux phosphates minéraux naturels en poudre fine et aux scories une action fertilisante égale et souvent supérieure à celle des superphosphates. Nous insistons sur ce point fondamental que le sol de nos champs d'expériences, comme celui du domaine où nous avons poursuivi jusqu'à ce jour nos études, sont essentiellement siliceux et très pauvres en calcaire (0,10 à 1 1/2 °/₀ de la terre fine). En effet, en sol franchement calcaire et dans certains sols argilo-calcaires, on s'accorde à constater la supériorité du superphosphate sur les phosphates minéraux et parfois sur les scories.

Nous sommes très portés à croire que la divergence de vues, en ce qui regarde l'assimilabilité des phosphates minéraux naturels, a pour origine la nature différente des sols sur lesquels ont porté les essais, nature qui n'est presque nulle part indiquée d'une manière précise par les expérimentateurs avec lesquels nous sommes en désaccord.

Sous le bénéfice de ces remarques préliminaires, nous allons faire connaître sommairement les résultats obtenus en 1892 et 1893 dans le champ d'expériences du Parc des Princes, et que de nombreux cultivateurs sont venus constater dans le cours des années 1893 et 1894.

La partie du champ d'expériences affectée aux essais comparatifs sur la valeur fertilisante des différents engrais phosphatés comprend seize parcelles d'une superficie d'un are et demi chacune. Le terrain, formé essentiellement de sable (93,40 °/₀), resté inculte jusqu'en 1891, a été comme je l'ai dit, défriché, puis défoncé à une profondeur de $0^m,65$ à $0^m,70$. Chacune des parcelles, sauf deux demeurées sans fumure pour servir de témoins, a reçu, en 1892, même dose d'acide phosphorique sous différentes formes (300 kilogr. à l'hectare) plus 200 kilogr. de potasse à l'état de kaïnite et 45 kilogr. d'azote (300 kilogr. de nitrate de soude à l'hectare). En 1893, on a donné à chacune des parcelles même quantité de nitrate que l'année précédente sans rapporter ni phosphate ni potasse.

A titre de comparaison, deux autres parcelles ont été fumées avec des quantités de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché, contenant 45 kilogr. d'azote.

Les récoltes se sont succédé, depuis 1892, dans l'ordre suivant :

En 1892 : pommes de terre Richter's Beney.

En 1893 : pommes de terre Marjolin-Tétard et jaune de Hollande. Chaque parcelle a été divisée en deux parties égales qui ont porté ces deux variétés. La semence provenait des cultures de M. Joseph Rigault, de Groslay.

En 1894, le champ porte du blé : variété d'Alsace récoltée dans l'exploitation de M. Gatellier, à Meaux. Le blé a été semé le 2 octobre au semoir Smyth : on a employé 156 litres et demi de semence à l'hectare.

La composition chimique du sol, avant fumure, a révélé son extrême pauvreté en principes fertilisants, condition très favorable à l'étude de l'action des engrais sur la végétation. Nous rappelons qu'au moment de sa mise en culture, la terre du champ présentait les teneurs suivantes de principes fertilisants :

	P. 100 DE TERRE
Chaux	0,920
Magnésie	0,080
Potasse	0,019
Acide phosphorique	0,045
Azote	0,068

Elle peut donc être considérée comme un sol extrêmement pauvre.

Les quantités d'engrais incorporés au sol, au printemps de 1892, ont élevé les taux d'acide phosphorique, de potasse et d'azote à des proportions correspondant à peine aux teneurs des sols les plus médiocres sous ce rapport. En effet, nous avons indiqué qu'après fumure, le sol renfermait seulement :

	P. 100 DE TERRE
Acide phosphorique	0,0573
Potasse	0,0300
Azote	0,0733

Les différents engrais phosphatés mis en expérience en 1892 sont au nombre de douze, savoir :

Phosphates minéraux naturels du Cambrésis, de la Somme, des Ardennes, du Boulonnais, de l'Indre, de la Floride et du Portugal ;

Classement des parcelles fumées par importance de rendements et d'après la moyenne des récoltes (rapportée à l'hectare).

RÉCOLTE DE 1892			RÉCOLTE DE 1893						MOYENNE DES DEUX ANNÉES (trois récoltes réunies)		
NUMÉROS des parcelles	FUMURE	POMMES de terre Beney	NUMÉROS des parcelles	FUMURE	JAUNE de Hollande	NUMÉROS des parcelles	FUMURE	MARJOLIN-Tétard	NUMÉROS des parcelles	FUMURE	MOYENNE
		kilogr.			kilogr.			kilogr.			kilogr.
I.	Témoin	8 830	I.	Témoin	9 884	I.	Témoin	12 116	I.	Témoin	10 277
X.	Somme 75/80	29 200	VI.	Cambrésis	25 809	XII.	Scories Est	23 188	XII.	Scories Est	24 931
XI.	Floride	28 400	X.	Somme 75/80	24 516	XIII.	Scories anglaises	21 242	VI.	Cambrésis	24 061
XII.	Scories Est	27 885	XII.	Scories Est	23 721	VI.	Cambrésis	20 057	X.	Somme 75/80	23 707
VI.	Cambrésis	26 317	XIII.	Scories anglaises	23 383	XI.	Floride	19 335	XI.	Floride	23 016
III.	Ardennes	25 730	III.	Ardennes	21 875	IV.	Boulonnais	18 557	XIII.	Scories anglaises	22 686
V.	Indre	25 210	V.	Indre	21 726	III.	Ardennes	17 566	III.	Ardennes	21 724
XV.	Superphosphate	25 210	IV.	Boulonnais	21 428	X.	Somme 75/80	17 395	IV.	Boulonnais	21 598
IV.	Boulonnais	24 810	XI.	Floride	21 314	XIV.	Phosphate précipité	17 283	V.	Indre	20 619
XIV.	Phosphate précipité	23 860	IX.	Portugal	20 478	IX.	Portugal	16 180	XIV.	Phosphate précipité	20 286
IX.	Portugal	23 710	II.	Somme 45/50	19 940	II.	Somme 45/50	15 490	IX.	Portugal	20 123
XIII.	Scories anglaises	20 233	XIV.	Phosphate précipité	19 709	V.	Indre	14 930	XV.	Superphosphate	18 416
II.	Somme 45/50	18 000	XV.	Superphosphate	15 769	XV.	Superphosphate	14 558	II.	Somme 45/50	17 816
XVI.	Témoin	12 650	XVI.	Témoin	8 204	XVI.	Témoin	13 392	XVI.	Témoin	11 415

phosphate précipité, superphosphates et deux sortes de scories de déphosphoration de provenances différentes. Le tableau de la page 257 résume les résultats obtenus pour chacune des parcelles : 1° en 1892, pommes de terre Beney ; 2° en 1893, avec chacune des variétés Tétard et Hollande ; 3° la moyenne des rendements des trois variétés récoltées dans les deux campagnes.

Pour les rendre plus saisissantes, résumons toutes les données de ce tableau en quatre nombres, représentant le rendement moyen à l'hectare des parcelles qui ont reçu, respectivement, des scories, des phosphates minéraux, du phosphate précipité et du superphosphate ; nous trouverons ainsi, comme rendement moyen général des trois variétés de pommes de terre :

	KILOGRAMMES à l'hectare
1° Scories	23 809
2° Phosphates minéraux	21 582
3° Phosphate précipite	20 286
4° Superphosphate	18 416

le rendement moyen des parcelles sans fumure est de 10846 kilogr., chiffre remarquable si l'on se reporte à la pauvreté du sol et qui nous paraît devoir s'expliquer surtout par l'état d'ameublissement parfait dû au labour profond du sol qui a précédé la plantation.

En résumé, les deux premières années de culture du champ d'expériences du Parc des Princes confirment les résultats que nous avons constatés depuis plus de vingt années dans nos cultures en *sol siliceux, pauvre en phosphate et en chaux,* à savoir : l'obtention, à dose égale d'acide phosphorique, de rendements élevés à l'aide des phosphates minéraux et des scories en poudre fine. Notre but principal en publiant ces résultats est de provoquer des vérifications expérimentales du fait qui est mis en lumière d'une façon indiscutable, à notre avis (assimilabilité des phosphates minéraux égale ou supérieure à celle des superphosphates en sol *siliceux*). Les sols siliceux pauvres qui couvrent de si grandes étendues en France peuvent être singulièrement améliorés par l'emploi simultané des phosphates naturels, des scories de déphosphoration, du nitrate et des sels de

potasse, tandis que l'on réservera les superphosphates pour les sols calcaires et argilo-calcaires.

La comparaison des engrais azotés, dans le sol de Boulogne, conduit à considérer l'azote nitrique comme supérieur à l'azote ammoniacal et surtout à l'azote organique ; en effet, les rendements moyens des trois récoltes de pommes de terre se sont élevés aux chiffres suivants :

Nitrate de soude.	24 931 kilogr.
Sulfate d'ammoniaque.	20 929 —
Sang desséché.	16 542 —

donnant des différences, en faveur du nitrate, de 16,5 °/₀ sur le sulfate et de 33,4 °/₀ sur l'azote organique.

Avant d'aborder l'exposé et la discussion des essais du champ d'expériences, nous désirons insister sur l'intérêt qui s'attache à l'étude de la culture du blé en sol siliceux pauvre et sur le rôle que le choix des fumures économiques est appelé, selon nous, à y remplir. — Les terrains pauvres en chaux et en acide phosphorique couvrent en France d'immenses étendues ; il n'est pas possible d'y substituer partout aux cultures proprement dites, la création de prairies temporaires et de pâturages ; les moyens à mettre en œuvre pour y obtenir économiquement d'autres récoltes constituent donc un sujet d'études de la plus haute importance pour le pays. C'est en multipliant les champs d'expériences conduits rationnellement qu'on arrivera à guider sûrement les praticiens dans le choix des fumures à adopter, suivant la nature spéciale de ces terrains ; en effet, tous les terrains pauvres en chaux et en acide phosphorique ne sont pas identiques ; leurs propriétés physiques et souvent leur constitution chimique diffèrent beaucoup, suivant la nature géologique des régions où on les observe (1). Il est donc nécessaire d'entreprendre

1. Nous ne saurions trop recommander à ce propos la lecture du remarquable ouvrage de M. E. Risler, intitulé : *Géologie agricole* (3 vol. in-8°, Berger-Levrault et Cie). Dans cette œuvre magistrale, le savant directeur de l'Institut agronomique a groupé méthodiquement l'étude des sols de l'Europe centrale et en particulier de la France d'après leur origine géologique. Les agronomes et les agriculteurs y trouveront de précieux renseignements sur les rapports de la nature des terres avec leurs cultures, leurs rendements et les conditions économiques de leur exploitation.



des expériences sur le plus grand nombre de points possible, en les prolongeant suffisamment pour écarter les causes d'erreurs accidentelles; c'est ainsi seulement qu'on pourra arriver à des conclusions applicables à la pratique, dans chacune des catégories de sols pauvres dont nous parlons.

Nous nous sommes adonnés depuis vingt-cinq ans bientôt à l'étude du rôle des phosphates minéraux en sol siliceux pauvre et nous sommes arrivés à des conclusions qui, bien qu'incontestables pour les terrains sur lesquels ont porté nos expériences, peuvent ne pas se vérifier dans d'autres sols également pauvres en chaux et en acide phosphorique. C'est en vue de provoquer des essais comparatifs, que nous avons soigneusement décrit, depuis que nous nous occupons de cette importante question de l'assimilabilité par les récoltes des phosphates naturels, les conditions particulières où nous nous sommes trouvés pour ces expériences. D'habiles praticiens, certains agronomes distingués ne partagent pas notre manière de voir au sujet de l'assimilation de l'acide phosphorique insoluble; les résultats négatifs qu'ils ont obtenus tiennent, on n'en peut douter, à ce que les conditions locales de leurs essais étaient différentes de celles des nôtres. Entre les mains d'hommes habitués aux recherches scientifiques, la différence des résultats constatés ne peut jamais s'expliquer que par la différence des conditions réalisées dans les expériences : un résultat négatif ne saurait infirmer un résultat positif. Admettre qu'il en peut être autrement équivaudrait à supprimer l'expérimentation méthodique des phénomènes naturels et à rejeter l'ensemble de toutes nos connaissances positives en chimie, en physique, en physiologie, etc.

La généralisation hâtive de résultats isolés doit donc être évitée, surtout en agriculture, l'ensemble de conditions identiques devant amener partout le même résultat ne se rencontrant pour ainsi dire jamais dans l'exploitation du sol.

Un agronome distingué, M. A. Wagner, directeur de la station de Darmstadt, nous paraît avoir cédé à cette tendance de généralisation excessive en écrivant ce qui suit, à propos du rôle de l'acide phosphorique dans la végétation : « Tous les phosphates minéraux non dissous, quelle que soit leur dissémination, qu'ils soient préparés

ou non, ne doivent pas être employés dans les terrains ordinaires (excepté dans les terres tourbeuses acides). Ils sont à peine plus actifs que l'acide phosphorique du sol dont les plantes ne peuvent utiliser annuellement que 1 à 2 °/₀ [1]. » La grande autorité dont jouit à juste titre, en Allemagne, le directeur de la station de Darmstadt donne à cette déclaration intransigeante une portée exceptionnelle. Nous ne mettons nullement en doute les résultats négatifs obtenus par M. A. Wagner, dans son laboratoire ou dans ses champs d'expériences, par l'emploi de certains phosphates minéraux bruts ; mais ces résultats négatifs n'infirment en rien les résultats positifs des huit années d'essais faits à Nancy, au champ d'expériences de la station agronomique de l'Est [2], et pas davantage ceux des cultures de l'école Mathieu-de-Dombasle, de l'école Descombes, dans la Meuse, du champ du Parc des Princes, depuis trois ans, etc. La dissidence qui sépare M. A. Wagner et d'autres expérimentateurs non moins habiles que lui de ceux qui, comme nous, ont constaté les bons effets des phosphates insolubles, ne saurait avoir d'autre cause — nous n'y pouvons assez insister — que les différences de conditions dans lesquelles nous avons, les uns et les autres, expérimenté. Nous y voyons une raison de plus de convier nos collègues, directeurs des stations agronomiques, et les praticiens émérites des diverses régions de la France à entreprendre des expériences sur cette importante question de l'assimilation des phosphates. La récolte de blé du Parc des Princes, en 1894, confirme, comme on le verra plus loin, les résultats de nos expériences antérieures sur le rôle des phosphates dans le rendement des sols siliceux pauvres que nous allons rappeler très sommairement.

De 1871 à 1878, le champ d'expériences de la station de l'Est, institué à Jarville, dans le voisinage de Nancy, a porté successivement les récoltes suivantes : pommes de terre, seigle en vert, colza, blé Galland, betteraves, orge Chevalier, maïs géant, avoine des Salines. Le sol de ce champ (d'un hectare de superficie) était

1. *La Question des engrais*, 1891.

2. « Huit années d'expériences comparatives sur les fumures azotées et phosphatées » (*Comptes rendus des travaux du congrès des directeurs des stations agronomiques*). 1881.



extrèmement pauvre en chaux (0,4 °/₀) et en acide phosphorique (0,06 °/₀).

Tous les deux ans, il a reçu, à l'hectare, la quantité de principes fertilisants suivante, sous différentes formes :

Acide phosphorique.	100 kilogr.
Azote	45 —
Potasse.	180 —

Chaque parcelle d'essai mesurait 500 mètres carrés (5 ares) : le champ, très homogène comme composition, ce qu'avait établi une première récolte sans fumure dans toute l'étendue du champ (orge en 1870), était divisé en deux parties égales, comprenant neuf parcelles chacune. L'une de ces parties reçut tous les deux ans les quantités d'engrais indiquées plus haut ; l'autre, des doses égales d'acide phosphorique et de potasse, mais pas d'azote. Des deux parcelles servant de terme de comparaison, l'une reçut tous les deux ans du fumier de ferme à la dose de 60 000 kilogr. à l'hectare ; la seconde demeura sans fumure aucune. L'acide phosphorique a été donné sous quatre formes différentes, savoir : 1° superphosphate ; 2° phosphate précipité ; 3° phosphorite de Nassau ; 4° poudre d'os. Renvoyant au mémoire original pour le détail des récoltes par parcelle, durant ces huit années d'expériences, nous nous bornerons à les résumer en quelques chiffres significatifs. En additionnant tous les rendements obtenus pendant ces huit années par la fumure contenant l'acide phosphorique sous la même forme et en divisant les totaux obtenus par le nombre des parcelles en expérience pour chaque engrais, on arrive aux résultats suivants :

	RENDEMENT moyen à l'hectare et par an
	—
1 Phosphate précipité.	12 581 kilogr.
2 Superphosphate	12 570 —
3 Phosphorite naturelle.	12 097 —
4 Poudre d'os.	10 386 —

Ces chiffres montrent que le phosphate bibasique qu'on désigne

dans la pratique sous le nom de phosphate soluble au citrate, a donné, pendant cette période de huit années, des résultats égaux à ceux fournis par le superphosphate. La signification de ces résultats avait, il y a vingt ans, une importance réelle, car on considérait, à cette époque, le phosphate bibasique comme beaucoup moins assimilable par les plantes que l'acide phosphorique soluble. Cette manière de voir avait pour conséquence de faire attribuer dans les engrais une valeur vénale presque nulle au phosphate bibasique. Aujourd'hui, il en est tout autrement et l'acide soluble au citrate est, par presque tous les intéressés, coté au même prix que l'acide soluble à l'eau.

Si l'on représente par 100 le rendement moyen du superphosphate et du phosphate précipité, durant ces huit années d'expériences, on trouve, pour les deux autres formes d'acide phosphorique, les taux de rendement suivants pour la même période :

	KILOGR.	
Phosphate précipité et superphosphate	= 12 580	= 100,0
Phosphate tribasique (phosphorite)	= 12 097	= 96,1
Phosphates organiques (poudre d'os).	= 10 386	= 82,5

Les rendements fournis par le phosphate minéral brut, en poudre, diffèrent donc de moins de 4 °/₀ de ceux obtenus avec le phosphate bibasique et le superphosphate, tandis que la poudre d'os, dans les mêmes terrains, a produit des récoltes dont le poids moyen à l'hectare est de 17 1/2 °/₀ inférieur au rendement des deux formes de phosphates traités.

Dans les parcelles qui n'ont pas reçu d'azote, les différences entre les poids moyens des récoltes fournies par le superphosphate, le phosphate précipité et le phosphate de Nassau ont présenté moins d'écart encore que dans la première série ; ces poids ont été les suivants :

	A L'HECTARE et par an
1 Superphosphate	10 657 kilogr.
2 Phosphate précipité	10 617 —
3 Phosphate tribasique	10 553 —

A partir de 1878, la construction d'un chemin de fer de ceinture ayant dépossédé la station de l'Est de son champ d'expériences, ces essais ont été interrompus.

En 1887, nous avons fait, de concert avec M. Thiry, à l'école Mathieu-de-Dombasle, une expérience dont nous allons rappeler les principales conditions et les résultats. Il s'agit également d'essais en sol siliceux pauvre, comme l'indique l'analyse suivante :

	P. 100 DE TERRE
Chaux	0,11
Acide phosphorique	0,09
Potasse	0,11
Azote	0,12

Nous avons, cette année-là, expérimenté l'acide phosphorique sous quatre formes différentes, à la dose de 150 kilogr. d'acide réel à l'hectare, savoir : 1° phosphate des Ardennes brut ; 2° phosphate des Ardennes calciné (1) ; 3° scories de déphosphoration ; 4° superphosphate. Le champ d'expériences avait une superficie de 25 ares. Partagé en cinq parcelles d'une contenance égale (5 ares), il a été ensemencé le 27 avril en avoine tartarienne qu'on a récoltée le 14 août. En mai, on a nitraté à la dose de 200 kilogr. à l'hectare les cinq parcelles ; la première est demeurée sans fumure phosphatée, comme témoin. Voici les rendements en grain et paille, rapportés à l'hectare, qu'a fournis chacune des parcelles :

FUMURE	PAILLE	GRAIN
	quint. métr.	quint. métr.
1 Nitrate sans phosphate	15,00	3,20
2 Superphosphate	14,75	9,50
3 Phosphate naturel	33,75	15,00
4 Phosphate calciné	39,75	21,30
5 Scories	31,25	20,00

1. Désigné sous le nom de thermophosphate, c'est-à-dire phosphate naturel des Ardennes porté à une température très élevée qui enlève au carbonate de chaux son acide carbonique. C'est donc un mélange de phosphate tribasique calciné et d'une quantité de chaux vive variable avec la nature de la matière première.

Les récoltes ont été photographiées avant la moisson afin d'en conserver l'aspect.

Il me semble qu'en présence des résultats que nous venons de rappeler il n'est pas possible de maintenir une assertion aussi radicale que celle de M. Wagner. Qu'il y ait des conditions dans lesquelles, en sol siliceux pauvre, les phosphates minéraux bruts sont mal assimilés et fournissent des résultats moins bons que l'acide phosphorique soluble, c'est certain, puisque des observateurs dignes de foi et expérimentés l'affirment, mais que dans d'autres conditions, telles que celles de nos champs d'expériences de Nancy et du Parc des Princes, les phosphates minéraux soient, au contraire, utilisés par les plantes, au même degré que l'acide phosphorique soluble, cela n'est pas moins positif. C'est à déterminer les conditions différentes que les récoltes rencontrent dans ces terrains de pauvreté variable en chaux et en acide phosphorique, que doivent servir les expériences dont nous souhaitons vivement l'installation dans des champs appartenant à des régions et à des formations géologiques différentes.

*
* *

Nous avons indiqué à grands traits les résultats généraux des essais de culture du Parc des Princes, concernant l'assimilation des phosphates d'origine différente, pendant les années 1891-1892 et 1892-1893. Les personnes qui nous ont fait l'honneur de venir visiter le champ d'expériences en 1894 ont pu constater la vigueur et le bel aspect du blé semé après deux récoltes consécutives de pommes de terre. La pesée des récoltes, les rendements en grain et paille produits par les divers phosphates mettront un peu plus loin en relief l'influence de l'acide phosphorique, quelle qu'en soit l'origine, sur la production d'excédents considérables par rapport aux parcelles témoins constatés dans chacune des parcelles qui ont reçu des phosphates.

Nous allons d'abord entrer en quelques détails sur les résultats économiques des deux premières années de culture et sur le plan adopté pour les essais ultérieurs.



Nous nous sommes proposé d'étudier expérimentalement les trois points principaux que voici : 1° assimilation (en sol siliceux pauvre) des diverses formes d'engrais phosphatés ; 2° durée de l'action fertilisante des différents phosphatés introduits dans le sol en fumure de tête ; 3° prix de revient des *excédents* de rendements obtenus par les différents phosphates, sur celui des récoltes du sol non fumé.

Afin de permettre aux agriculteurs dont les terres sont comparables, par leur nature, à celle de notre champ d'expériences, de contrôler les résultats de nos essais et de les répéter, il nous paraît nécessaire de préciser les conditions fondamentales de notre programme d'études.

Le terrain, inculte jusque-là, a été défriché en 1891 ; il était infesté de chiendent : en vue du nettoiement du sol, nous avons placé une plante sarclée (pomme de terre) en tête de l'assolement quinquennal que nous avions en vue. Pour compléter la destruction du chiendent et d'autres plantes adventices, nous avons cultivé, la seconde année encore, des pommes de terre : le sol du blé qui a succédé à cette deuxième récolte de plantes sarclées était entièrement débarrassé des mauvaises herbes. Au blé succédera une autre céréale (seigle ou avoine) qui sera suivie d'une légumineuse. Cet assolement de début comportera donc la succession suivante de récoltes :

1re année, plante sarclée ;
2e année, plante sarclée ;
3e année, céréale ;
4e année, céréale ;
5e année, légumineuse.

La fumure fondamentale devant suffire, nous l'espérons du moins, aux besoins, en acide phosphorique et en potasse, des cinq récoltes, a été introduite dans le sol au printemps 1891 : nous rappelons qu'elle se composait, à l'hectare, de :

Fumier frais	30 000 kilogr.
Acide phosphorique sous diverses formes.	300 —
Potasse	200 —

A ces quantités d'engrais, qui ne seront pas renouvelées de 1891

à 1896, on a ajouté en 1891 et en 1892, avant labour, 300 kilogr. de nitrate de soude et en 1894, au printemps, 100 kilogr. du même sel, en couverture sur le blé. En 1895, la céréale succédant au blé recevra, suivant besoin, 100 ou 200 kilogr. de nitrate de soude, et il ne sera donné aucune fumure pour légumineuse en 1896. A quel prix, dans cet assolement, revient la fumure, par année moyenne, c'est ce que nous allons établir. Le fumier pailleux nous a été fourni sur le champ au prix de 6 fr. les 1 000 kilogr., par une vacherie des environs. L'acide phosphorique peut être compté, au cours actuel, aux prix suivants, différents selon son origine : 1° dans les phosphates de richesse moyenne employés par les cultivateurs à l'état brut, en poudre fine, il coûte 25 cent. le kilogramme ; 2° dans les phosphates industriels, tels que Somme à 75/80, Floride à 77/82, presque exclusivement réservés à la fabrication des superphosphates, mais que nous désirions expérimenter à l'état naturel, il revient à 30 cent. le kilogramme ; 3° dans les scories de déphosphoration, 30 cent. également ; 4° enfin, dans le superphosphate (14/16), son prix est de 50 cent. le kilogramme ; 5° la potasse, dans la kaïnite employée, coûte 40 cent. environ, et 6°, l'azote du nitrate 1 fr. 60 (24 fr. les 100 kilogr. de nitrate) le kilogramme. Ces prix se rapportent aux années 1892-1895.

En appliquant ces prix aux quantités indiquées plus haut et rapportées à l'hectare, on arrive à la dépense moyenne annuelle suivante pour achat d'engrais, d'après la catégorie de phosphate envisagée :

	A L'HECTARE
1° Parcelles au phosphate minéral de richesse moyenne .	105f,40
2° Parcelles au phosphate riche industriel et aux scories.	109 ,40
3° Parcelles au superphosphate.	120 ,40

Les autres frais : loyer, labours, semailles, cultures diverses, récoltes, restent les mêmes pour toutes les parcelles, y compris celles qui, devant servir de témoins, n'ont pas reçu de fumure ; nous les laisserons de côté, chacun, suivant les conditions de son exploitation, devant être conduit à leur affecter des valeurs variables, et nous rapporterons le calcul des prix de revient des *excédents de récolte*

sur le rendement des parcelles non fumées, à la seule dépense en engrais. — Les chiffres auxquels conduisent, pour nos deux premières années de récolte (pommes de terre), les rapprochements qui vont suivre montrent, à l'évidence, que la dépense occasionnée par la fumure est inégalement, mais, *dans tous les cas,* très largement rémunérée par les excédents obtenus comparativement à la production naturelle du sol non fumé.

La fumure phosphatée a été complétée par l'addition de nitrate et de potasse. L'insuccès dans l'emploi d'une matière fertilisante seule est dû le plus souvent dans la pratique, à l'absence, dans le sol, des éléments autres que celui qu'on y apporte et qui ne sont pas moins indispensables que lui à la fertilisation complète de la terre. Il ne faut jamais oublier ce point fondamental dans les essais de fumure.

Ne pouvant entrer ici dans les calculs relatifs à chacune des seize parcelles dont nous avons déjà indiqué les rendements respectifs, nous allons, pour simplifier, grouper, sous quatre chefs, les résultats moyens des parcelles analogues par leur fumure phosphatée, savoir :

1° Phosphates de moyenne richesse (parcelles VI, VII, IV, V et IX), 105 fr. 40 à l'hectare ;

2° Phosphates riches (parcelles X et XI), 109 fr. 40 à l'hectare ;

3° Scories (parcelles XII et XIII), 109 fr. 40 à l'hectare ;

4° Superphosphates (parcelle XV), 120 fr. 40 à l'hectare ;

5° Parcelles témoins sans fumure (parcelles I et XVI).

La moyenne des rendements des deux parcelles témoins a été, pour les deux années, de 10 841 kilogr. de tubercules. Cette récolte de pommes de terre, supérieure de près de 3 000 kilogr. au rendement annuel moyen du sol français, a lieu de surprendre au premier abord, étant donnée l'excessive pauvreté du sol naturel. Elle ne peut guère s'expliquer que par l'effet du défoncement profond qu'a subi le champ d'expériences au moment de son défrichement. La terre, très meuble, a été remuée sur une épaisseur de 60 centimètres environ, ce qui a permis aux racines de s'étendre en tous sens pour chercher l'alimentation de la plante.

En retranchant le produit moyen du sol non fumé (10 841 kilogr. à l'hectare) du rendement moyen de chacun des groupes de parcelles

classées comme nous venons de le dire, on obtient les excédents de récolte afférents à chacun d'eux :

I. — Phosphates moyens	20 991	kilogr.
Témoin	10 841	—
Excédent.	10 150	—
II. — Phosphates riches	23 361	—
Témoin.	10 841	—
Excédent.	12 520	—
III. — Scories	23 809	—
Témoin	10 841	—
Excédent.	12 968	—
IV. — Superphosphates.	18 416	—
Témoin	10 841	—
Excédent.	7 575	—

Les chiffres qui représentent les extrêmes des rendements, 7 575 kilogr. (superphosphate) et 12 968 kilogr. pour les scories, retranchés l'un de l'autre donnent, pour différence maximum dans la récolte, 5 393 kilogr. en faveur des scories.

Les variétés de pommes de terre cultivées appartenant à la culture potagère avaient une valeur beaucoup plus élevée que celles des pommes de terre de grande culture. Elles ont trouvé acquéreur à 12 et 15 fr. les 100 kilogr. ; mais, pour établir les plus-values dues à l'emploi des engrais, nous affecterons aux produits du champ d'expériences une valeur de 6 fr. seulement les 100 kilogr., chiffre plutôt inférieur qu'égal au prix général de la pomme de terre de table.

La valeur de la récolte et celle des excédents, à l'hectare, basées sur ce prix très modéré de 60 fr. les 1 000 kilogr., s'établissent comme suit :

I. Phosphates moyens. .	20 991	kilogr. à 60 fr.	= 1 259f,46 (récolte).
—	10 150	—	= 609 ,00 (excédent).
II. Phosphates riches . .	23 361	—	= 1 401 ,66 (récolte).
—	12 520	—	= 751 ,20 (excédent).
III. Scories	23 809	—	= 1 428 ,54 (récolte).
—	12 968	—	= 778 ,08 (excédent).
IV. Superphosphates. . .	18 416	—	= 1 104 ,96 (récolte).
—	7 575	—	= 454 ,50 (excédent).

De ces évaluations il résulte que le produit brut, à l'hectare, de la culture de pomme de terre potagère, dans les conditions de sol et de fumure où nous sommes placés, varie de 1 105 fr. à 1 428 fr. (1). Quels que soient les frais généraux de culture, dont nous laissons l'appréciation aux agriculteurs que la nature de leur terre placerait dans des conditions analogues à celles où nous nous trouvons, il est certain que les quatre catégories de phosphates, associés au nitrate de soude et aux sels de potasse, permettent d'obtenir *en sol pauvre* une récolte rémunératrice. Certains phosphates bruts ont donc été assimilés dans nos essais presque à l'égal des scories et mieux utilisés que les superphosphates; il est très probable qu'il en serait autrement en sol calcaire, mais, nous le répétons encore une fois, ces expériences, comme celles que nous avons faites jusqu'ici touchant l'assimilabilité des phosphates, ont été instituées en sol pauvre en acide phosphorique et en chaux. Bien que très médiocrement pourvu en calcaire (1,64 °/₀), le champ du Parc des Princes en contient encore une proportion qui dépasse de beaucoup celle que réclame la saturation des acides libres du superphosphate; on ne peut donc invoquer, pour expliquer l'influence moindre de ce dernier engrais, l'absence de calcaire dans le sol et l'interprétation du fait doit être cherchée ailleurs. (Probablement dans la teneur du sol en alumine et en fer.)

Pour apprécier de plus près la dépense en engrais correspondant à la production des excédents de récoltes indiqués plus haut, il suffit de répartir la dépense en fumure à l'hectare, sur le poids des 1 000 kilogr. d'excédent obtenu. On arrive aux résultats suivants pour les quatre catégories de phosphate envisagées :

I. Phosphates moyens : 10 150 kilogr. de pommes de terre (excédent) correspondant à une dépense annuelle de 105 fr. 40 ; les 1 000 kilogr. représentent une dépense de fumure de 10 fr. 38.

II. Phosphates riches (dépense, 109 fr. 40), 12 521 kilogr. d'excédent : les 1 000 kilogr. correspondent à 8 fr. 89.

III. Scories (dépense, 109 fr. 40), 12 968 kilogr. d'excédent : les 1 000 kilogr. correspondent à 8 fr. 43.

---

1. Ce produit serait deux fois et demie plus élevé si on l'établissait en partant du prix auquel la récolte a trouvé acquéreur.



IV. Superphosphates (dépense, 120 fr. 40), 7 575 kilogr. d'excédent : les 1 000 kilogr. reviennent à 15 fr. 89.

On voit par là que, dans le cas le moins favorable, celui du superphosphate, le prix de revient, attribuable à la fumure, de l'excédent de récolte produit, est encore très faible, atteignant le quart seulement de la valeur vénale minimum que nous avons attribuée aux 1000 kilogr. de pommes de terre et le dixième à peine du prix de vente obtenu.

Cette constatation est une démonstration évidente du rôle capital que joue, dans le prix de revient, l'élément fumure.

Quelle que soit la nature de la fumure phosphatée dont on fera choix, d'après la nature du sol que l'on cultive, on est certain, en lui associant le nitrate de soude et, si besoin est, comme au Parc des Princes, des sels potassiques, d'obtenir des excédents de rendement rémunérateurs. Si les conditions physiques du sol s'y prêtent, on peut obtenir en sol pauvre, par le choix d'engrais appropriés, des excédents de récoltes dont la valeur dépasserait de quatre à six fois et plus la dépense en engrais.

Dans le cas particulier d'un terrain analogue à celui du champ d'expériences du Parc des Princes, il semble que la valeur des excédents de récolte peut être considérée comme un bénéfice net, celle du produit moyen des parcelles sans fumure devant couvrir tous les frais de culture. En effet, les 10 841 kilogr. de pommes de terre récoltées sur les parcelles témoins représentent une valeur de 710 fr., excédant à coup sûr les frais généraux de culture d'un hectare. Tout ce qui dépasse ce chiffre de 710 fr., augmenté, s'il y a lieu, des dépenses de fumure, doit, ce semble, constituer un bénéfice net. Mais nous n'insistons pas sur cette question de comptabilité et nous nous contentons de formuler les conclusions suivantes :

1° Les phosphates naturels de richesses variant de 18 à 37 °/o d'acide phosphorique réel se sont montrés très assimilables dans les conditions de notre champ d'expériences ;

2° Les scories de déphosphoration se placent au premier rang des phosphates minéraux sous le rapport des rendements ;

3° Les superphosphates, bien que donnant des rendements infé-

rieurs à ceux des scories et des phosphates minéraux, ont encore produit des récoltes très rémunératrices;

4° Le nitrate de soude et la kaïnite doivent être associés aux phosphates pour que ceux-ci produisent tout leur effet. Nous reviendrons sur l'influence prépondérante des doses de potasse sur les rendements de la pomme de terre, en parlant des essais particuliers que nous avons faits à ce sujet.

*
* *

Pour toutes sortes de raisons bien connues, la France, dont la principale culture est celle des céréales, ne saurait, quelles que soient les conditions du commerce de blé, songer à renoncer à la production du froment. Tout esprit tant soit peu réfléchi est de cet avis, et si quelques agriculteurs placés dans des conditions spéciales se décident à restreindre leurs emblavures, la masse des cultivateurs continuera, bon gré mal gré, à faire du blé. On peut donc dire qu'il n'est pas, pour l'agriculture nationale, de questions plus importantes, de sujets d'études et d'expériences qui s'imposent avec plus de force que les divers problèmes soulevés par la culture économique de la précieuse céréale. Le prix du blé est aujourd'hui (1894), en moyenne générale pour toute la France, de 19 fr. le quintal. Quelle sera, sur ce prix déjà si bas, l'influence de la récolte qui se poursuit en ce moment et qui, en général, s'annonce comme devant être très bonne? Nous le saurons bientôt, mais il ne paraît pas probable, *a priori*, que les prix se relèvent sensiblement. L'agriculture se trouve donc, par la force des choses, en présence d'une situation qui se peut résumer dans deux propositions : 1° nécessité de continuer à produire du blé sur une surface voisine de celle qu'occupe depuis longtemps cette céréale, soit environ 7 millions d'hectares; 2° valeur de 19 à 20 fr. le quintal de grain, sans probabilité d'une hausse sensible dans un avenir très prochain. Si nous ajoutons que beaucoup de cultivateurs déclarent que le quintal de blé leur revient à 25 fr., on comprendra les justes préoccupations et les plaintes suscitées par l'avilissement du prix du blé; on conclura en même temps avec nous, nous le pensons, à l'importance plus grande que jamais de l'étude des moyens

à employer pour aider l'agriculture à sortir de la phase si pénible qu'elle traverse.

S'il était exact que le prix de revient moyen du quintal de blé s'élève à 25 fr. alors que le prix de vente n'atteint pas 20 fr., et si, de plus, ce qui heureusement n'est pas, il était démontré que ce prix de revient de 25 fr. ne peut être sensiblement abaissé, il faudrait prévoir, contre toute vraisemblance, la suppression de la culture du blé dans notre pays, sauf peut-être chez le petit cultivateur ne produisant de froment que pour sa consommation personnelle ; cela revient à dire qu'il faudrait prévoir l'abandon de l'agriculture dans un pays dont cette branche de l'activité humaine est la principale source de richesse. On ne comprendrait pas, en effet, que les raisons les plus éloquentes, les objurgations les plus pressantes, pussent arriver à convaincre nos intelligentes populations rurales qu'elles doivent indéfiniment s'adonner, au prix de tant de labeur, à produire une denrée dont la récolte de chaque quintal les mettrait en perte de 5 fr. Autrement dit, s'il était exact que les 80 millions de quintaux de blé récoltés annuellement en France coûtent 2 milliards et se vendent 1 600 600 000 fr. au maximum, occasionnant une perte de 400 millions aux producteurs français, ceux-ci n'auraient vraisemblablement d'autres ressources que de renoncer à sa culture. Mais que feraient-ils ? Quelle culture remplacerait le blé ?

Nous savons bien que les partisans exagérés d'une certaine école économique proposent une solution qu'ils croient radicale : un droit prohibitif à l'entrée de notre territoire sur le vin, l'alcool, le sucre, la fécule, le blé, en un mot sur toutes les denrées que nous pouvons produire. Grâce à cette prohibition absolue, pensent-ils, nous arriverions promptement à une production suffisante pour couvrir les besoins de notre population. Nous ne pouvons nous empêcher, en dehors de toute question théorique de protection et de libre-échange, de douter de l'efficacité de semblables mesures dont les conséquences, en cas d'insuffisance de récolte, de guerre extérieure, etc. (sans compter la réciprocité dont pourraient être tentés d'user certaines nations), seraient désastreuses pour le pays.

Nous avons maintes fois exprimé la conviction que la France pourrait aisément arriver à produire la quantité de blé nécessaire à son

alimentation, et cela à un prix de revient rémunérateur. Nous poursuivons sans relâche, et en dehors de toute préoccupation de polémique économique, l'étude expérimentale de la production du blé dans des conditions qui, malgré l'affaissement extrême des prix, doivent permettre de continuer avec profit la culture indigène du froment.

La gravité du sujet sera notre excuse auprès de nos lecteurs pour le développement que nous croyons devoir donner à l'exposé de la culture expérimentale du blé, en 1893-1894, au champ d'expériences de la Station agronomique de l'Est et à la discussion des résultats dont nous avons pu réunir tous les éléments par la récolte du Parc des Princes. Nous espérons pouvoir fournir ainsi à nos lecteurs une nouvelle démonstration péremptoire de l'influence prépondérante d'une fumure bien choisie sur l'abaissement du prix de revient par l'accroissement des rendements, et les convaincre qu'on peut, dans un sol très médiocre, produire du blé à un prix bien inférieur à 25 fr. le quintal. Dans l'espoir que cette démonstration engagera les cultivateurs à tenter des essais de culture améliorée du blé, nous entrerons dans les détails nécessaires pour leur permettre de répéter, s'ils le désirent, les expériences dont nous allons rendre compte.

Les rendements obtenus au Parc des Princes dans des conditions aussi voisines de celles de la grande culture que le permet l'installation d'un champ d'expériences sont si élevés, qu'ils pourraient sembler à quelques-uns entachés d'exagération ; auprès de ceux-là, s'il s'en rencontrait, il nous suffirait d'invoquer le témoignage des très nombreux cultivateurs qui, depuis le mois de juin 1894, ont suivi les progrès de la végétation du champ d'expériences et dont quelques-uns, à notre grande satisfaction, ont assisté à la moisson, au battage et à la pesée du grain et de la paille récoltés dans chacun de nos champs. Nous avons, de plus, tenu à conserver à l'aide de la photographie, comme nous le dirons plus loin, l'aspect de chacune des parcelles du champ soumises à une fumure différente.

Le champ d'expériences de la Station agronomique de l'Est, défriché en 1892, a porté, pendant deux années consécutives, des pommes de terre. Il a été emblavé le 12 octobre 1893, quelques semaines

après l'arrachage des pommes de terre. Le froment, suivant un adage bien connu, n'aime pas les sols creux ; aussi n'a-t-il été donné au champ aucun labour d'automne et s'est-on contenté d'enlever les fanes et d'égaliser le sol par un coup de râteau remplaçant un hersage léger en grande culture.

La variété employée était le blé d'Alsace, provenant de l'exploitation de M. Gatellier, à la Ferté-sous-Jouarre, qui l'avait lui-même importé de Lorraine. Nous avons été guidés dans le choix de cette variété par la précocité du blé d'Alsace d'une part, de l'autre par sa rusticité, sa résistance au froid et à l'humidité. Le climat du Parc des Princes, en effet, est humide et relativement froid ; l'expérience des années précédentes nous avait appris qu'il convient d'y introduire de préférence des récoltes hâtives.

La semaille a été faite avec grand soin, en ligne, au semoir Smyth (six rangs par mètre), que les constructeurs avaient gracieusement mis à notre disposition. On a employé une quantité de semence correspondant à 133 kilogr. à l'hectare, ou 156^{l},4, le poids de l'hectolitre de semence étant de 85 kilogr. Aucune fumure n'a directement précédé la semaille : nous rappellerons que le sol avait reçu précédemment les fumures suivantes, sur le coût desquelles nous reviendrons plus loin :

	A L'HECTARE
	kilogr.
En 1892 :	
Fumier de vacherie.	30 000
Acide phosphorique sous divers états. . .	300
Potasse sous forme de kaïnite	200
Nitrate de soude.	300
En 1893 :	
Nitrate de soude.	300

Deux récoltes de pommes de terre ont été faites sur ces fumures. La levée du blé s'est faite régulièrement : la plante n'a nullement souffert pendant l'hiver. Le 28 mars 1894, on a répandu à la volée, en mélange avec de la terre de chacune des parcelles à fumer, une dose de nitrate de soude correspondant à 100 kilogr. à l'hectare (soit 15 kilogr. d'azote). Nous nous étions proposé de répandre une seconde quantité de nitrate égale à la première, en avril, si l'aspect

de la végétation semblait en indiquer la nécessité ; mais nous avons renoncé à ce deuxième épandage, en présence de la vigueur et de la coloration du blé vers la fin d'avril. C'est donc, en tout, une fumure de 15 kilogr. d'azote qu'a reçue le blé semé après pommes de terre. Comme dans les années précédentes, douze parcelles seulement sur seize ont reçu du nitrate de soude : il n'a été répandu sur les parcelles I et XVI, servant de témoins depuis le défrichement, aucune quantité d'engrais. Les parcelles VII et VIII ont reçu, comme précédemment, l'azote sous forme de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché, à titre de comparaison avec le nitrate. Nous y reviendrons plus tard.

Grâce à la propreté du sol, résultant de la culture des plantes sarclées qui a précédé l'emblavure de cette année, et sans doute aussi à l'extrême sécheresse de 1893, peu favorable au développement et à la fructification des mauvaises herbes, notre culture de blé était à peu près exempte de ces dernières : à peine a-t-on eu quelques plantes adventices à arracher, et le blé seul s'est développé et a profité de la fumure. Cette absence de végétaux étrangers à ceux dont on se propose la culture est un point essentiel à noter, les mauvaises herbes croissant au milieu d'une récolte diminuant d'autant les ressources alimentaires que le sol offre à cette dernière.

Du 18 au 20 mai, au moment de l'épiage favorisé par les conditions atmosphériques, les 24 ares consacrés à la culture du blé ont été recouverts, à la hauteur de $2^m,50$ et latéralement, d'un filet destiné à protéger la récolte contre les déprédations des moineaux, qui pullulent dans cette région. Un essai de culture de blé et d'orge, en 1892, avait démontré la nécessité absolue de cette protection, les moineaux n'ayant pas laissé un « seul » grain de ces céréales arriver à maturité.

La floraison s'est accomplie aussi parfaitement que possible du 3 au 10 juin. Le 18 juillet, le blé était, dans toutes les parcelles, arrivé à maturité. Le blé, coupé à la faux, a été mis en moyettes le 20 juillet ; le battage, commencé le 28 juillet, s'est terminé le 3 août.

Le battage a été exécuté à la batteuse à bras Lanz, que M. Faul avait gracieusement mise à notre disposition. Cette batteuse est tout

à fait recommandable pour la petite culture : elle ne casse pas du tout le grain. La paille, bien que cassée à l'extrémité des gerbes (le battage se faisant en long), peut être très bien utilisée, à la ferme, comme aliment ou comme litière; mais elle est trop divisée pour qu'il soit possible de la peser en vue d'établir le rapport de son poids à celui du grain. Nous avons procédé de la manière suivante pour établir ce rapport. Les gerbes ont été pesées isolément avant le battage, le grain recueilli a été passé au tarare, puis pesé. La différence des deux poids correspond à la paille et aux balles. Désirant étudier plus rigoureusement que ne le permettent les opérations que nous venons d'indiquer les rapports de la paille, des balles, du grain et du chaume restant dans le sol, nous avons eu recours aux dispositions suivantes :

Dans chaque parcelle on a choisi un rectangle de blé de 3 mètres sur 2, représentant aussi exactement que possible la moyenne apparente de la récolte ; ce choix était d'ailleurs rendu facile par l'homogénéité de chacune des parcelles ; au moment de la moisson, la faux a respecté ces rectangles, dont la récolte a servi : 1° à faire la photographie des blés de chaque parcelle à une échelle rigoureusement identique, ce qui permet la comparaison des récoltes ; 2° à prélever sur une surface de 2 mètres carrés une gerbe destinée à être battue et vannée à la main et à fournir ainsi les poids respectifs des grains, paille, balle et souche des blés de chacune des parcelles. Ces différentes opérations seront faites au laboratoire avec toute la précision désirable.

Nous ajouterons que toutes les opérations destinées à servir de base à la fixation des rendements, telles que : pesées des gerbes et du grain, délimitation des rectangles types, photographies, récolte des échantillons destinés aux recherches de laboratoire, ont été faites par nous-mêmes. Il en a été de même de la pesée et de l'épandage à la main des engrais afin d'être certains de leur bonne exécution. Tous les chiffres relatifs aux pesées ont été recueillis en double au moment des opérations et soigneusement contrôlés sur place. Nous sommes donc en mesure de répondre de la rigoureuse exactitude des chiffres sur lesquels repose l'évaluation des rendements.

En 1894, le rendement en blé des parcelles I et XVI n'a pas été moins surprenant que celui des deux récoltes de pommes de terre en 1892 et 1893, dont la moyenne a atteint 10840 kilogr. à l'hectare. Ce chiffre excède d'un tiers environ le rendement moyen, en pommes de terre, du sol français, comme on en peut juger par les chiffres suivants, rapportés à l'hectare ainsi que les précédentes récoltes :

	GRAIN	PAILLE et balles	RÉCOLTE totale
	q. m.	q. m.	q. m.
Parcelle I.	17,18	32,91	50,09
Parcelle XVI.	22,60	41,74	64,34
Moyenne des deux parcelles. .	19,89	37,32	57,21

L'année ayant été très favorable à la végétation du blé, le rapport entre la production moyenne du froment à l'hectare en France et celle des parcelles I et XVI pourrait bien demeurer sensiblement égal à celui que nous venons de rappeler, c'est-à-dire que le sol du champ d'expériences aurait donné, sans fumure, une récolte supérieure d'au moins un tiers à celle d'un hectare moyen de la terre française.

Cette fécondité naturelle, vraiment remarquable, du sol du champ d'expériences, tandis que le terrain contigu, mais n'ayant jamais reçu de culture, produit à peine une herbe chétive et quelques touffes de genêts semblables de tous points à celles qui couvraient notre terrain en 1891 avant son défrichement, mérite d'autant plus qu'on s'y arrête pour en chercher l'explication, qu'il s'agit, on se le rappelle, d'un sol extrêmement pauvre à tous égards. Comment se fait-il qu'après avoir donné, sans fumure, deux abondantes récoltes de pommes de terre, les parcelles I et XVI aient pu produire cette année près de 20 quintaux de grain et plus de 37 quintaux de paille à l'hectare? Les façons culturales et les modifications favorables qu'elles ont apportées à la terre, jointes à la propreté parfaite du sol, peuvent seules en donner l'explication, et nous allons chercher à démontrer qu'elles la fournissent en effet, les conditions climatériques de la dernière campagne aidant.

Comme nous l'avons dit à plusieurs reprises, le terrain destiné à

nos expériences a été, au printemps de 1892, entièrement remué à la bêche jusqu'à une profondeur de 60 centimètres environ. Cette opération, qui correspond au sous-solage le plus parfait qu'on puisse exécuter, si même elle ne lui est pas supérieure, a eu les conséquences suivantes : 1° ameublissement parfait du sol sur toute cette épaisseur; 2° aération de la terre dans les mêmes limites; 3° rupture de la capillarité ayant pour résultat, comme nous l'avons précédemment indiqué, de maintenir dans le terrain une grande fraîcheur pendant la saison sèche, alors que le sol voisin, de longue date tassé, perdait très rapidement son eau et demeurait très peu perméable à l'air. Cet ensemble de conditions a permis aux racines des végétaux de s'étendre profondément dans le sous-sol, où elles rencontraient à la fois l'humidité, l'aération et les éléments nutritifs à un état particulièrement favorable à leur alimentation, surtout en ce qui regarde l'azote.

Nul doute pour nous, comme pour les cultivateurs distingués qui ont suivi assidûment nos essais, que les modifications mécaniques et physiques imprimées au sol par cette sorte particulière de labour profond n'aient une part tout à fait prépondérante dans les hauts rendements obtenus dans les parcelles sans fumure. Si, ce qui est incontestable, on ne peut pas, dans la pratique, réaliser un pareil labour, les faits constatés au Parc des Princes n'en démontrent pas moins les avantages considérables de l'aération et de l'ameublissement du sol dans les limites compatibles avec les conditions économiques d'une grande exploitation rurale. Les agriculteurs sont loin d'avoir obtenu jusqu'ici les améliorations certaines qu'ils peuvent attendre d'un travail mécanique du sol plus complet que celui qu'ils exécutent dans la plupart des cas.

Quel que soit le bon effet d'un défonçage comme celui qu'a subi notre terrain, il ne suffirait pas à l'obtention de 108 quintaux de pommes de terre et de 20 quintaux de blé à l'hectare, si le sol n'était pourvu des éléments nutritifs nécessaires à la production de ces récoltes. La discussion des conditions chimiques de cette production doit donc fixer notre attention; elle nous fournira des indications dont les cultivateurs pourront tirer profit. Arrêtons-nous-y quelques instants.

Le sol du Parc des Princes peut être rangé au nombre des plus pauvres en principes fertilisants. Pour 100 parties en poids, il ne renferme, en effet, que les quantités suivantes :

Humus	0,100 %
Azote	0,068
Acide phosphorique	0,045
Chaux	0,920
Potasse	0,019

Pour apprécier plus aisément le degré de pauvreté de cette terre, il faut se souvenir que la plupart des agronomes considèrent les teneurs ci-dessous comme celles que doit présenter un sol de moyenne qualité :

Azote	0,10 %
Acide phosphorique	0,10
Potasse	0,15

D'après l'opinion de ces agronomes, une terre contenant ces proportions d'azote, d'acide phosphorique et de potasse devrait, pour presque toutes les cultures, recevoir par les engrais un complément de chacun de ces aliments des plantes.

Le sol des parcelles I et XVI renferme donc seulement moitié, à peu près, de la quantité d'azote, moins de moitié de celle d'acide phosphorique et les 13/100 seulement de celle de potasse regardées comme nécessaires à la fertilité d'un sol médiocre.

Ces données analytiques ne suffisent pas pour édifier ceux de nos lecteurs qui ne sont pas habitués à ce genre d'études, sur les quantités de principes fertilisants dont les végétaux disposent dans notre terrain : en les rapportant à l'hectare et à la profondeur de la couche arable utilisée par les plantes, nous donnerons une idée plus précise des conditions chimiques dans lesquelles deux récoltes successives de pommes de terre, sans fumure aucune, ont placé le blé semé en octobre dernier dans les parcelles I et XVI. Le mètre cube du terrain sableux du Parc des Princes pèse 1 550 kilogr. La couche de 20 centimètres de profondeur représente, à l'hectare, un poids de 3 100 tonnes métriques (3 100 000 kilogr.) et celle de 40 centimètres, qu'on peut considérer comme étant en relation avec les

racines des pommes de terre, pèse le double, soit 6 200 tonnes métriques.

En appliquant à ces deux nombres la composition centésimale de la terre naturelle du champ, on trouve, à l'hectare, les poids suivants de principes fertilisants :

	COUCHE	
	de 0m,20.	de 0m,40.
	kilogr.	kilogr.
Acide phosphorique	1 395	2 790
Potasse	589	1 178
Azote	2 108	4 216
Chaux	23 520	57 040

On remarquera, en passant, que ce terrain, bien que tout à fait siliceux, contient des quantités de chaux de beaucoup supérieures à celles qu'exigent toutes les espèces végétales, les plantes qui y croissent spontanément, telles que le genêt, sont improprement appelées silicicoles ; l'épithète qui leur convient est bien plutôt celle de calcifuge, ces plantes redoutant l'excès de chaux bien plus qu'elles ne recherchent la silice pour elle-même.

Pour évaluer les quantités d'azote, d'acide phosphorique et de potasse laissées disponibles pour le blé qui a succédé aux deux récoltes de pommes de terre, il suffit de retrancher des chiffres ci-dessus les quantités de ces trois principes enlevées par les pommes de terre et leurs fanes, celles-ci ayant été exportées des parcelles en même temps que les tubercules.

La moyenne de la récolte des parcelles I et XVI rapportée à l'hectare a été de 10 840 kilogr. de tubercules par année, soit 21 680 kilogr. pour les deux années. Le prélèvement de principes fertilisants exercé dans le sol par cette double récolte, y compris les fanes correspondantes, s'est élevé approximativement aux chiffres suivants :

Acide phosphorique	38,6 kilogr.
Azote	83,0 —
Potasse	134,0 —

Si l'on retranche ces nombres de ceux qui représentent la teneur du sol à l'hectare, sur 20 centimètres de profondeur, en ces trois

principes nutritifs, on constate que le blé semé à l'automne dernier avait encore, au minimum, à sa disposition, dans la couche de 20 centimètres de profondeur où s'effectue principalement son alimentation, les quantités suivantes, très supérieures aux exigences de 20 quintaux métriques de blé, comme nous le verrons plus tard :

RESTANT PAR HECTARE	COUCHE DE 0m,20
Acide phosphorique	1 356,4 kilogr.
Azote	2 025,0 —
Potasse	455,0 —

En rapprochant les quantités d'acide phosphorique, d'azote et de potasse contenues dans les deux récoltes de pommes de terre de celles que renfermait primitivement le sol, on trouve que les prélèvements de ces trois corps ont été respectivement les suivants :

	P. 100	
Acide phosphorique	1,38	de la quantité totale.
Azote	1,97	—
Potasse	11,38	—

Sans nul doute, la préparation mécanique du sol et l'aération qui en a été la conséquence ont favorisé énergiquement l'assimilation par les récoltes des principes nutritifs, relativement si peu abondants dans cette terre : d'une part, la nitrification de l'azote organique a été activée, de l'autre la porosité et l'ameublissement du sol ont permis aux racines de se développer abondamment et de s'étendre en tous sens pour aller demander à une surface plus étendue de terre une alimentation si parcimonieusement dévolue aux végétaux du terrain contigu, presque imperméable à l'air et aux racines, en raison de sa texture physique qu'aucun agent mécanique n'est venu modifier.

Enfin, n'oublions pas que le terrain est exempt de mauvaises herbes qui, dans les terres sales, vivent aux dépens de la récolte.

On voit par les rendements remarquables des parcelles sans fumure, aussi bien en blé qu'en pommes de terre, quel rôle prépondérant les actions mécaniques jouent en agriculture. Si aux modifi-

cations dues à ces actions on joint une fumure rationnelle, on peut plus que doubler ces rendements, comme le montrent les récoltes des parcelles fumées, dont certaines nous ont donné 37 et 43 quintaux de grain à l'hectare.

*
* *

Les seize parcelles du champ d'expériences, d'un are et demi chacune, consacrées en 1893-1894 à la culture du blé, se rangent en trois groupes, au point de vue de leur état de fumure. Deux d'entre elles, on le sait, n'ont reçu depuis le défrichement du sol et ne recevront à l'avenir aucune espèce d'engrais (parcelles I et XVI).

Douze parcelles, formant le deuxième groupe, sont affectées à l'étude des augmentations de rendement sous l'influence de doses égales d'acide phosphorique sous des formes diverses, associées à des quantités de potasse et de nitrate de soude identiques pour chaque parcelle. Enfin les deux dernières parcelles ont reçu, dès l'origine, l'azote sous forme organique (sang desséché) et ammoniacal (sulfate), en vue de la comparaison de ces deux engrais avec le nitrate de soude.

Nous commencerons par résumer les principaux résultats constatés dans les douze parcelles du deuxième groupe. Le tableau de la page 284 indique pour chaque parcelle, classée d'après les poids décroissants de blé récolté, les rendements en grain, en paille et balles et le poids total de la récolte, tous les chiffres étant rapportés à l'hectare.

Les chiffres de la deuxième colonne expriment la différence entre les pesées de la récolte totale et le poids du grain passé au tarare, après le battage des gerbes.

En attendant que nous ayons déterminé, sur les échantillons prélevés spécialement à cet effet, les poids isolés de paille et de balles de la récolte de chaque parcelle, nous admettrons provisoirement, dans les évaluations que nous donnerons plus loin de la valeur de la récolte, que les balles représentent 10 °/₀ du poids du mélange paille et balles.

Le poids naturel de la semence employée en octobre dernier,

c'est-à-dire le poids de l'hectolitre légèrement tassé et mesuré suivant les habitudes de la pratique, était très élevé et voisin de 85 kilogr., exactement 84^{kg},850. Nous avons déterminé, par la même méthode, le poids de l'hectolitre du grain récolté dans chacune des douzes parcelles, afin de pouvoir indiquer le nombre d'hectolitres correspondant à celui des quintaux récoltés à l'hectare. La cinquième colonne fait connaître les résultats de ces déterminations ; la dernière colonne indique le nombre de grains récoltés pour un de semé.

NUMÉROS des parcelles	NATURE des phosphates	POIDS du grain	POIDS de la paille et des balles	RÉCOLTE totale	POIDS de l'hectolitre	NOMBRE d'hectolitres à l'hectare	MULTIPLICATION de la semence
		q. m.	q. m.	q. m.	kilogr.		
VI.	Cambrésis	43,38	104,92	148,30	81,75	56,06	32,6
XI.	Floride.	36,95	89,91	126,86	84,25	43,86	27,7
X.	Somme, 75/80 . . .	35,98	97,18	133,16	82,40	43,66	27,3
V.	Indre	34,79	72,69	107,48	80,40	43,27	26,1
XV.	Superphosphate . . .	34,46	67,54	102,00	79,90	43,13	25,9
XII.	Scories de l'Est . . .	34,22	76,35	110,57	79,40	43,09	25,7
XIII.	Scories anglaises. . .	32,72	74,43	107,15	81,55	40,12	24,5
III.	Ardennes.	32,23	69,01	101,24	81,15	39,71	24,2
II.	Somme, 45/50 . . .	31,55	65,61	97,16	80,85	39,03	23,7
IX.	Portugal	31,41	72,02	103,43	80,65	38,94	23,6
IV.	Boulonnais	31,11	65,87	96,98	79,60	39,08	23,4
XIV.	Phosphate précipité .	27,95	61,52	89,47	80,85	34,58	21,0
I. XVI.	Moyenne des témoins .	19,89	37,32	57,21	80,25	24,78	14,9

La nature des phosphates employés a modifié dans des limites assez sensibles, et sans qu'il nous soit permis, tout au moins pour l'instant, d'en donner la raison, le poids naturel du grain. L'écart maximum est de près de 5 kilogr. par hectolitre, 84^{kg},25 à 79^{kg},40, soit 4^{kg},850, entre le blé de la parcelle XI et celui de la parcelle XII.

Les variations dans le poids naturel du blé tiennent en partie au tassement différent du grain au moment du mesurage ; mais l'écart constaté entre le blé de la parcelle XI (Floride) et celui de la par-

celle XII (scories Est) nous a semblé trop considérable pour être attribué exclusivement à cette cause, d'autant que nous avions fait nous-mêmes et dans des conditions aussi comparables que possible les mesurages et les pesées du blé de chaque parcelle.

Nous avons eu recours, pour nous éclairer, à la détermination exacte de la densité du grain, c'est-à-dire à la fixation du poids du grain occupant rigoureusement un volume égal à un litre, et par conséquent soustrait à l'action du tassement. Nous avons trouvé les nombres suivants :

	POIDS naturel	POIDS absolu
	kilogr.	kilogr.
Floride	84,25	133,3
Scories Est	79,40	131,6
Semence	84,85	131,6

Il n'y a, d'après cela, on le voit, qu'un rapport très incertain entre le poids apparent d'un hectolitre de blé et la densité réelle du grain qui indique le poids vrai de 100 litres de grain, déduction faite des vides inévitables dans la pesée ordinaire.

A quoi peut-on attribuer la différence constatée entre le poids réel du même volume de deux échantillons de grain provenant de la même semence? Cette différence, qui s'élève, par hectolitre, à 1^{kg},700, entre la semence que nous avait fournie M. Gatellier et le blé récolté dans la parcelle fumée au phosphate de Floride, peut-elle s'expliquer par la composition chimique des graines (variations dans la teneur des deux blés en gluten, amidons, résidus, cendres)? C'est ce que l'analyse ultérieure des récoltes du champ d'expériences nous apprendra, et nous nous bornerons aujourd'hui à constater le fait.

Nous appuyant sur les documents numériques que nous avons tenu à mettre sous les yeux de nos lecteurs assez complètement pour qu'ils puissent discuter, à leur gré, les résultats du champ d'expériences, nous allons résumer les principales conclusions qui en découlent.

Le tableau met, à l'évidence, hors de conteste deux faits tout à fait intéressants pour les cultivateurs des régions siliceuses qui occupent en France de si grandes étendues, peu productives naturel-

lement : 1° la possibilité d'obtenir dans ces terrains, pourvu que leurs qualités physiques s'y prêtent, des rendements comparables à ceux des sols de longue date en culture et justement réputés fertiles ; 2° l'assimilabilité du phosphate de chaux naturel d'origines les plus diverses, depuis l'apatite du Portugal jusqu'aux sables phosphatés de la Somme, en passant par les phosphates du grès vert, du gault et de l'étage crétacé, etc. Examinons avec quelque détail ces deux conclusions, nous réservant d'établir plus tard le caractère économique de ces diverses fumures phosphatées.

Les rendements en grain de la même semence de blé (blé d'Alsace) ont varié, suivant la nature des phosphates employés, de 28 à 43 quintaux, en excédent de 8 à 23 quintaux sur le rendement des parcelles témoins dont la fertilité a été si remarquable, malgré l'absence de toute fumure, grâce aux façons mécaniques données au sol. Nous sommes donc en droit de maintenir notre assertion antérieure concernant l'efficacité des phosphates dans les sols siliceux et d'affirmer que la plupart de ces minéraux finement broyés et, ce qu'il ne faut jamais perdre de vue, associés au nitrate de soude et à la potasse, lorsque cette dernière fait défaut dans le sol, permettent d'atteindre de hauts rendements en céréales comme en pommes de terre.

Les chiffres inscrits au tableau confirment en même temps la conclusion à laquelle nous avons été amenés, depuis vingt ans, par nos essais de culture, à savoir que l'assimilabilité des phosphates naturels égale, au moins dans les sols pauvres en calcaires, celle du superphosphate et dépasse souvent celle du phosphate bicalcique, ou phosphate précipité.

Peut-on, *a priori,* prévoir par l'examen chimique des phosphates le degré d'assimilabilité de chacun d'eux ? Plusieurs tentatives ont été faites à ce sujet : on a successivement préconisé la solubilité plus ou moins grande dans divers réactifs comme un criterium de la valeur agricole d'un phosphate ; mais aucun des procédés imaginés n'a abouti à un résultat de quelque valeur ; l'expérimentation directe par la culture reste seule capable, après une série de récoltes différentes, de fournir des indications approchées sur le degré d'assimilabilité d'un phosphate, de même que l'éleveur tire des essais

d'alimentation des renseignements sur la valeur nutritive des divers fourrages que l'analyse chimique est insuffisante à nous donner.

M. Wagner a cru pouvoir tirer de ses expériences en pots, sur les divers phosphates, la conclusion suivante : « Je puis dire avec certitude que les phosphates minéraux, dont 5 à 10 °/₀ seulement de l'acide phosphorique total sont solubles dans la solution de citrate d'ammoniaque additionné de 5 °/₀ d'acide citrique, ne peuvent pas être employés dans les conditions ordinaires comme engrais[1]. »

Cette conclusion est absolument controuvée par les faits suivants: Nous avons soumis les différents phosphates introduits dans le sol du champ d'expériences en 1892, à l'essai du réactif Wagner, et déterminé le taux pour cent d'acide phosphorique de chacun d'eux qui s'y dissout. Le tableau suivant, dans lequel, à côté des résultats de ces essais de solubilité nous indiquons la récolte brute moyenne par année du champ d'expériences, ne peut laisser aucun doute sur l'inanité de la méthode au point de vue des renseignements *a priori* sur la valeur agricole des phosphates.

NATURE DES PHOSPHATES	RÉCOLTE BRUTE moyenne annuelle 1892-94 à l'hectare	SOLUBILITÉ de l'acide phosphorique
—	—	—
	kilogr.	°/₀
Cambrésis	21,753	5,3
Somme	21,107	0,18
Scories	21,462	76,80
Floride	20,433	0,24
Ardennes	18,824	13,30
Boulonnais.	18,626	12,10
Indre.	18,153	5,00
Portugal.	17,678	néant
Phosphate précipité . . .	17,450	100,00
Superphosphate.	16,434	100,00
Sol naturel	9,565	néant

La première colonne de ce tableau exprime en kilogrammes la récolte moyenne, à l'hectare, des trois campagnes 1892-1894. Les chiffres qui y sont inscrits représentent la somme des poids moyens

1. *La Question des engrais*, p. 24.

de pommes de terre, de grain et paille de blé fournis par les parcelles fumées avec les phosphates dont la solubilité est indiquée dans la colonne 2. L'échantillon moyen du sol du champ d'expériences prélevé en 1892, au moment du défrichement, a été, à titre de comparaison, traité par le réactif Wagner.

La conclusion à tirer de la comparaison des deux colonnes de ce tableau est aussi évidente que simple :

Il n'existe aucun rapport, si éloigné qu'il soit, entre la solubilité d'un phosphate dans le réactif Wagner et son assimilation par la plante. En effet :

1° Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec les phosphates les moins solubles (Floride, Cambrésis, Somme) ;

2° L'apatite du Portugal, dont l'acide phosphorique est absolument insoluble, a fourni un rendement moyen supérieur pour les trois années au phosphate précipité et au superphosphate entièrement solubles dans le réactif Wagner ;

3° Comme on pouvait s'y attendre, le phosphate du sol naturel s'est montré entièrement insoluble aussi, et bien que nous ayons opéré sur un poids de terre vingt fois plus élevé que celui des divers phosphates soumis à l'action du réactif ammoniaco-citrique, il ne nous a pas été possible d'y constater trace d'acide phosphorique soluble.

En résumé et comme conclusion générale, c'est aux essais culturaux bien conduits qu'il faut demander des indications pratiques sur la valeur relative des phosphates, suivant la nature du sol et celle des récoltes qu'on veut obtenir. Les résultats de la culture du blé au Parc des Princes confirment absolument ceux que nous avons obtenus dans celle des pommes de terre en 1892 et 1893. Ils démontrent l'action très efficace des phosphates minéraux bruts en poudre fine, dans les sols siliceux notamment. Aux praticiens de déterminer, par des expériences dans le sol de leurs exploitations, le choix à faire parmi les diverses sources de phosphates que nous offrent la nature et l'industrie. Le point essentiel pour eux est d'employer sur la plus large échelle possible, pour la fertilisation de leurs terres, l'acide phosphorique sous la forme que l'expérience leur aura révélée la mieux appropriée à la nature des sols qu'ils cultivent : superphos-

phate dans les terrains calcaires, phosphates minéraux de telle ou telle provenance dans les sols siliceux, scories dans tous les sols.

Utilisons les ressources énormes qu'offrent à l'agriculture les gisements de phosphates si nombreux en France; ne laissons pas sortir de notre pays les scories de déphosphoration de nos usines; réservons nos phosphates riches pour la fabrication du superphosphate; appliquons les phosphates plus pauvres au sol de nos vastes plateaux siliceux, et nous verrons s'accroître nos rendements, au point de devenir très rémunérateurs encore, malgré la baisse des prix des produits agricoles.

Plus que jamais nous nous croyons donc en droit de mettre en garde les cultivateurs contre les assertions absolues de M. Wagner : « Les phosphates minéraux, dit-il, quelle que soit leur finesse, quelle que soit la facilité avec laquelle ils se dissolvent dans les acides, ne sont pas à employer comme engrais, ou seulement dans des limites très étroites. Dans les sols cultivés ordinaires (?), même en sol riche en humus, ils sont à peu près inertes : *probablement* peuvent-ils être employés avec avantage dans des sols tourbeux fortement acides. » Et plus loin il ajoute, en soulignant toute la phrase : « Tous les phosphates minéraux non dissous ne sont pas à employer comme engrais dans les terrains ordinaires. Ils sont à peine plus actifs que l'acide phosphorique du sol, dont les plantes ne peuvent utiliser annuellement que 1 à 2 °/₀. »

L'exemple des parcelles fumées avec le phosphate du Cambrésis, de l'Indre — et avec l'apatite du Portugal, qui ont produit de 31 à 43 quintaux de grains à l'hectare, nous semble une réfutation complète de cette opinion [1].

La valeur d'une récolte de blé dépend surtout du rendement en grains. La paille en forme cependant un élément non négligeable, surtout dans les années de rareté de fourrages. Il est donc intéressant, en vue des conclusions pratiques à tirer de nos essais de culture au Parc des Princes, d'examiner l'influence que les diverses

1. A cette époque, 1894, les belles recherches de M. Th. Schlœsing, fils, sur le rôle de la dissolution aqueuse naturelle de l'acide phosphorique dans le sol (voir ces *Annales*, t. XXX) n'étaient pas publiées.

formes d'acide phosphorique ont exercée sur la production de la paille et de rechercher la proportion de cette dernière au grain, dans les différentes parcelles. Un coup d'œil jeté sur le tableau des rendements a permis à nos lecteurs de constater que le poids de la paille de la récolte de chaque parcelle n'est pas proportionnel au poids du grain correspondant; *a priori,* il semblerait qu'il doive y avoir une relation très étroite entre les quantités de grain et de paille d'une même variété de blé récolté dans un sol identique, sous le rapport des fumures, avec cette seule distinction que l'acide phosphorique provient de sources différentes. En réalité, il n'en est point ainsi, et, pour s'en convaincre, il suffit de rapprocher, en les présentant sous une autre forme, les résultats des pesées des récoltes des différentes parcelles. Le tableau suivant indique pour chacune des douze parcelles dont nous étudions la récolte :

1° La proportion du grain à la paille dans 100 kilogr. de récolte ;

2° La quantité de paille correspondant à 100 kilogr. de grain vanné ;

3° La quantité de grain correspondant à 100 kilogr. de paille et balles.

NUMÉROS des parcelles	NATURE des phosphates	100 KILOGR. récolte donnent Grains	Paille	de grains correspondent kilogr. paille	paille correspondent kilogr. grains
I. XVI.	Témoins	34,71	65,29	188	53,13
XV.	Superphosphate	33,78	66,22	196	51,01
II.	Somme 45/50	32,47	67,53	208	48,08
V.	Indre	32,37	67,63	209	47,86
IV.	Boulonnais	32,08	67,92	213	47,23
III.	Ardennes	31,83	68,17	212	46,70
XIV.	Phosphate précipité	31,24	68,76	220	45,43
XII.	Scories Est	30,95	69,05	223	44,82
XIII.	Scories anglaises	30,54	69,46	228	43,90
IX.	Portugal	30,37	69,63	229	43,62
VI.	Cambrésis	29,25	70,75	242	41,34
XI.	Floride	29,13	70,87	243	41,10
X.	Somme 75/80	27,02	72,98	270	37,02

On remarquera que les phosphates qui ont donné le plus haut rendement en grains et en paille, à l'hectare, le phosphate du Cam-

brésis, le phosphate de la Floride et le phosphate de la Somme 75/80 ont, au contraire, fourni les proportions de grains les moins élevées par rapport à la quantité de paille : inversement les parcelles témoins, dont la récolte totale est de beaucoup la plus faible, présentent le rapport le plus élevé des grains à la paille. Tandis que le Cambrésis, pour une récolte totale de 100 kilogr., donne 29^{kg},25 de grain seulement, le blé des parcelles témoins en rend 34^{kg},71.

A part cette remarque, il est difficile de constater des relations entre la nature des phosphates employés et les rapports du grain à la paille. C'est ce que montre le classement ci-dessous des rendements en grains et en paille et balles rapportés à celui de la parcelle VI (Cambrésis) qui a donné la récolte maximum, prise pour unité.

Si nous égalons à 100 la récolte de grains (43^{qm},38) et celle de paille (104^{qm},92) à l'hectare, les onze parcelles restantes se classent dans l'ordre suivant :

		GRAINS	PAILLE ET BALLES
VI.	Cambrésis	100,00	100,00
XI.	Floride	85,18	85,79
X.	Somme 75/80	82,96	92,62
V.	Indre	80,22	69,28
XV.	Superphosphate	79,43	64,37
XII.	Scories Est	78,88	72,86
XIII.	Scories anglaises	75,43	70,94
III.	Ardennes	74,30	65,78
II.	Somme 45/50	72,73	62,53
IX.	Portugal	72,40	68,61
IV.	Boulonnais	71,71	72,68
XIV.	Phosphate précipité	64,43	58,58
I. XVI.	Témoins	45,85	34,62

On voit par ce rapprochement que si, d'une façon générale, le poids de la paille décroît comme cela doit être avec le poids de grains récolté, ce décroissement n'est nullement proportionnel et présente des écarts difficiles à expliquer, mais qu'il n'est pas inutile de constater.

Le petit tableau précédent met en évidence, plus simplement que le relevé des poids de blé et de paille récoltés à l'hectare, l'influence plus ou moins favorable de chacun des phosphates sur le rendement

du sol. Le phosphate du Cambrésis étant pris comme terme de comparaison, on voit que les récoltes de grains obtenues avec les autres engrais phosphatés lui sont inférieures de 15 à 35 %, sans qu'on puisse invoquer, pour expliquer ces écarts, l'origine géologique des phosphates ; en effet, l'apatite du Portugal se range avant le phosphate du Boulonnais qui se montre inférieur à celui des Ardennes et supérieur au phosphate précipité ; le phosphate riche de la Somme a produit une récolte d'un poids de 10 % supérieur au phosphate pauvre (45/50) de la même région.

Le sol naturel, sans fumure, a donné une récolte inférieure à celle du Cambrésis de 54 % en grains, tandis que, comparée au phosphate précipité, la moins-value du témoin n'est que de 20 % environ.

Pour la paille, les écarts sont plus grands encore, allant à 65 % du témoin à la parcelle VI (Cambrésis) et s'élevant à 41,4 % entre cette dernière et la parcelle XIV (phosphate précipité).

Nous avons cru devoir entrer dans ces détails pour montrer la difficulté qu'on éprouve lorsqu'on est consulté par les cultivateurs, ce qui nous arrive souvent, sur le choix de tel ou tel phosphate et sur l'augmentation de rendement qu'on en peut espérer.

L'expérience seule peut donner une réponse de quelque valeur à ces questions : il ne faudrait pas croire, en effet, que partout, dans des terres et pour des récoltes diverses, les phosphates d'origine différente conserveraient nécessairement le même rang ; la tendance à trop généraliser, si naturelle à l'esprit humain, pourrait aisément induire en erreur les praticiens qui voudraient, sans expérience préalable, conclure de nos essais à la supériorité absolue de tel phosphate sur tel autre.

Ce que prouve le champ d'expériences du Parc des Princes, c'est que tous les phosphates employés sont assimilables par les végétaux ; que tous, sans exception, ont élevé très notablement les rendements du sol naturel et, comme nous le montrerons prochainement, d'une façon économique et rémunératrice. Quant au classement des différents phosphates au point de vue de l'accroissement des rendements, nous ne pourrons le tenter qu'au bout d'un certain nombre d'années et encore, nous le répétons, ce classement n'aura toute sa valeur que

pour le sol où nous opérons ou pour des sols très voisins de ce dernier par leurs propriétés chimiques et physiques et pour les mêmes sortes de récoltes.

Sous ce dernier rapport, les trois années consécutives de culture du champ du Parc des Princes nous permettent déjà d'établir une comparaison entre la culture des plantes sarclées, celle du blé et l'influence des différents phosphates sur les rendements.

Les scories riches (à 21 °/₀ d'acide phosphorique) ont donné en 1892 et 1893 le rendement le plus élevé en pommes de terre : la moyenne des récoltes des trois variétés de pommes de terre s'est élevée, avec cet engrais, à 24 931 kilogr. à l'hectare, celle des parcelles témoins étant de 10 841 kilogr.

En prenant ce rendement maximum de 24 931 kilogr. comme terme de comparaison et en l'égalant à 100, les rendements en pommes de terre des autres parcelles se classent comme suit :

Scories de l'Est et du Nord	100,00
Cambrésis	96,55
Somme 75/80	95,08
Floride	92,36
Scories anglaises	89,38
Ardennes	87,13
Boulonnais	85,63
Indre	82,70
Phosphate précipité	81,37
Portugal	80,71
Superphosphate	73,87
Somme 45/50	71,46
Témoins	43,48

Ce classement présente, avec celui que nous avons obtenu pour le blé, des analogies et des différences également intéressantes à noter.

Ici, ce sont les scories riches qui occupent le premier rang, alors qu'elles ne figurent plus qu'au cinquième dans les rendements en blé ; le Cambrésis passe au second rang, la Somme riche au troisième et la Floride au quatrième. Mais, en définitive, ces quatre phosphates tiennent la tête des hauts rendements en pommes de terre comme en blé. La différence la plus notable est relative au su-

perphosphate qui, de l'avant-dernier rang pour la culture de la pomme de terre, occupe le cinquième pour celle du blé. L'apatite du Portugal a conservé la même place dans les deux classements.

Un fait particulièrement intéressant à noter, c'est la presque identité de l'augmentation centésimale dans les rendements, en pommes de terre et en blé, sous l'influence des phosphates. L'écart entre le rendement le plus élevé dans l'un et l'autre cas et celui des parcelles témoins est sensiblement le même : 54,15 °/₀ pour le blé, 56,5 °/₀ pour les pommes de terre en faveur des parcelles fumées ; mais le rendement minimum en pommes de terre (parcelle II, Somme 45/50) ne diffère que de 28 °/₀ du rendement maximum, tandis que l'écart pour le blé s'élève, comme nous l'avons dit précédemment, à 35 °/₀.

Si, maintenant, laissant de côté la nature des produits, nous faisons la somme des récoltes brutes obtenues, à l'hectare, en 1892, 1893 et 1894 et que nous divisions le total par trois, nous aurons la production moyenne annuelle en substance végétale de chacune des parcelles, depuis l'origine de nos expériences. En rangeant ces moyennes par ordre décroissant à partir du Cambrésis qui a donné le rendement moyen le plus élevé et en égalant celui-ci à 100, on dresse le tableau suivant qui permet une comparaison plus approchée de la valeur fertilisante relative des divers phosphates :

	RÉCOLTE moyenne annuelle à l'hectare	RÉCOLTES exprimées en centièmes
	kilogr.	
Cambrésis	21 360	100,00
Somme 75/80	20 990	98,26
Scories Est	20 798	97,37
Floride	20 470	95,37
Ardennes	18 524	86,72
Boulonnais	18 166	85,05
Indre	18 095	84,74
Scories anglaises	18 080	84,64
Portugal	17 460	81,74
Phosphate précipité	17 430	81,60
Superphosphate	16 854	78,81
Somme 45/50	15 110	70,74
Témoins	9 015	42,20

. L'influence de la fumure s'est donc traduite pour l'ensemble des trois récoltes successives par une plus-value dans les rendements allant de 29 à 58 °/₀, suivant la nature de l'engrais phosphaté, l'augmentation de rendement la plus faible étant encore très largement rémunératrice, comme nous le montrerons en étudiant la valeur de la récolte de chacune des parcelles.

Comparaison du nitrate de soude avec les sels ammoniacaux et le sang desséché. — Il nous reste, pour achever le relevé des résultats du champ d'expériences, à faire connaître les rendements en blé et paille des parcelles VII et VIII dont la fumure diffère de celle de la parcelle XII (scories du Nord et de l'Est) en ce que l'azote leur a été donné sous forme de sulfate d'ammoniaque (parcelle VII) et de sang desséché (parcelle VIII) depuis la première année d'expérience. Les rendements, rapportés à l'hectare, ont été les suivants :

	GRAINS	PAILLE ET BALLES
	q. m.	q. m.
Parcelle VII, sulfate d'ammoniaque.	30,73	64,37
Parcelle VIII, sang desséché	28,53	57,28

La parcelle XII, fumée au nitrate, a donné 34^{qm},22 de grains et 76^{qm},35 de paille. La différence, en faveur du nitrate, 3^{qm},49 de grain dans un cas et 5^{qm},69 dans l'autre, n'exprime pas, à beaucoup près, la plus-value due au nitrate : en voici la raison. Dans l'ignorance où nous étions, à l'automne dernier, des quantités de nitrate de soude que nécessiterait au printemps l'état du blé dans les douze parcelles à fumer au nitrate en couverture, nous avions fumé les parcelles VII et VIII, comme les années précédentes, à la dose de 45 kilogr. d'azote ammoniacal et organique, correspondant à une fumure possible en couverture, avec 300 kilogr. de nitrate de soude. L'état de vigueur du blé, de mars à mai, nous a engagé à réduire la dose de nitrate à 100 kilogr., soit 15 kilogr. d'azote nitrique à l'hectare. Il suit de là que la supériorité du nitrate sur le sulfate d'ammoniaque et sur le sang desséché, dans notre sol, n'en est que plus marquée, puisque les parcelles VII et VIII ayant reçu trois fois plus d'azote sous ces deux formes que la parcelle XII, ni-

tratée, ont fourni une récolte inférieure en grain et en paille à celle de cette dernière.

Nous avions déjà constaté cette supériorité du nitrate dans les deux années précédentes, alors que les trois parcelles avaient reçu même dose d'azote chaque année, soit 45 kilogr. à l'hectare sous forme de nitrate, de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché. Les rendements moyens des deux années en pommes de terre avaient été :

Parcelle XII, nitrate	24 931 kilogr.
Parcelle VII, sulfate d'ammoniaque	20 929 —
Parcelle VIII, sang desséché	16 542 —

donnant des différences en faveur du nitrate de 16,5 °/₀ sur le sulfate et de 33,4 °/₀ sur l'azote organique. Il est donc incontestable que, dans les conditions générales de nos cultures, le nitrate à dose égale d'azote s'est montré très supérieur au sulfate d'ammoniaque et à l'azote organique, puisqu'une dose triple de ces deux engrais a donné une récolte sensiblement moindre que le nitrate.

*
* *

Après avoir mis sous les yeux de nos lecteurs tous les chiffres relatifs aux récoltes des trois premières années de culture du champ d'expériences (pommes de terre et blé), nous nous proposons d'examiner la répartition de la dépense d'engrais sur chaque récolte et l'influence prépondérante de la fumure sur le prix de revient des denrées récoltées.

Nous rappellerons tout d'abord qu'il n'existe pas pour un produit du sol, pas plus que pour un objet manufacturé, un prix de revient unique ou universel. On peut, au contraire, dire avec justesse qu'il y a autant de prix de revient que de conditions de production. Nous nous sommes déjà élevés contre une assertion beaucoup trop absolue apportée, à plusieurs reprises, à la tribune française et maintes fois reproduite dans une certaine presse agricole, à savoir que le prix de revient du quintal de blé, en France, est de 25 fr. Sans contester nullement que, dans certaines exploitations, la production de 100 kilogr. de blé puisse coûter 25 fr., on peut affirmer non seulement que ce chiffre ne doit pas être considéré comme représentant

le coût moyen d'un quintal de froment, mais encore qu'il n'est pas possible de fixer le prix de revient *moyen* du blé.

En effet, fixer à un chiffre unique, pour notre pays, à 25 fr. au cas particulier, le prix de revient de 100 kilogr. de blé, c'est admettre que les conditions de production : nature et fertilité du sol, climat, loyer de la terre, prix de la main-d'œuvre et de la fumure, etc., sont partout identiques. Or rien n'est moins vrai, cela va de soi. Comment comparer la production d'une terre d'une valeur locative de 200 fr. et plus à l'hectare à celle d'un sol qui se loue 50, 40, 30 fr. et même moins? des rendements de 35 à 45 hectolitres à d'autres de 7 à 8 à l'hectare? des régions à bétail nombreux et à main-d'œuvre d'un prix élevé aux contrées où le fumier existe à peine et dans lesquelles, par contre, la journée de travail ne se paye que les deux tiers ou la moitié du prix des salaires des régions industrielles, etc.?

Le prix de revient étant la résultante d'un grand nombre de facteurs essentiellement variables d'un lieu à l'autre, est nécessairement variable comme ces facteurs eux-mêmes. Nous ne chercherons donc pas à établir le prix de revient de nos récoltes, mais nous nous attacherons à montrer, avec toute la précision possible, l'influence, sur le prix de revient, du facteur le plus important et le moins malaisé à déterminer, à savoir l'influence de la fumure et en particulier celle des engrais commerciaux.

Cette influence peut être mise en relief de la façon à la fois la plus manifeste et la plus exacte par la comparaison des rendements des diverses parcelles du *même* sol diversement fumées, avec le rendement du sol naturel sans fumure ; autrement dit, en établissant le coût des *excédents* de récolte obtenus par l'emploi des engrais.

La première chose à faire est d'évaluer la dépense en engrais à affecter à chacune des récoltes successives du champ d'expériences du Parc des Princes, étant donné l'assolement que nous avons adopté. Cet assolement embrasse cinq années se succédant comme suit :

1892	1re année :	Plantes sarclées . .	Pommes de terre.
1893	2e —	—	—
1893-4	3e —	Céréale.	Blé.
1895	4e —	Céréale.	Avoine.
1896	5e —	Légumineuse . . .	Vesce velue.



En ce qui regarde la fumure, il faut établir une distinction entre la *fumure de tête*, qui ne sera pas renouvelée avant l'expiration de la cinquième année, et la *fumure complémentaire*, variable d'une année à l'autre, suivant la nature de la récolte.

Dans le calcul de la dépense en engrais à affecter à chaque récolte, on peut procéder de deux manières :

1° Diviser par 5 le coût de la fumure de tête et ajouter au quotient obtenu la dépense annuelle en engrais complémentaire, variable d'une récolte à l'autre ;

2° Faire la somme de la dépense de la fumure de tête et des fumures complémentaires annuelles et diviser le total par le nombre d'années que doit durer l'assolement, par 5 dans notre cas particulier.

La première méthode nous semble plus rationnelle ; mais, tout en l'adoptant, nous indiquerons également le résultat auquel conduit le deuxième mode de calcul ; nos lecteurs pourront ainsi choisir, pour faire des comparaisons, avec les résultats obtenus dans leurs exploitations, celui des deux procédés d'évaluation qui leur paraîtra préférable.

Coût de la fumure de tête. — Au printemps de 1892, on a répandu, après défonçage du terrain, sur les quatorze parcelles destinées aux essais de fumure des quantités d'engrais correspondant, à l'hectare, aux poids suivants de matières fertilisantes :

30 000 kilogr. de fumier de ferme,
300 kilogr. d'acide phosphorique,
200 kilogr. de potasse.

Le fumier médiocre a été livré au prix de 6 fr. les 1 000 kilogr., l'acide phosphorique coûte 27 cent. le kilogramme dans les phosphates suivants : scories de déphosphoration, phosphates riches de la Floride et de la Somme 75/80. Dans les autres phosphates, 23 cent. le kilogramme, Cambrésis, Ardennes, Indre, Boulonnais, Portugal, Somme 45/50. — Il vaut 45 cent. le kilogramme dans le phosphate précipité et 50 cent. dans le superphosphate. La potasse, dans la kaïnite, coûte 40 cent. le kilogramme. En partant de ces données, le coût de la fumure fondamentale qui ne sera pas renouvelée

avant 1896, s'établit de la manière suivante pour chacune des catégories de parcelles :

Parcelles aux phosphates pauvres.

	PAR AN
1° Fumier de ferme. 180 fr. pour cinq ans, soit.	36f,00
2° 300 kilogr. acide phosphorique à 23 cent. l'un, 69 fr., soit.	13 ,80
3° 200 kilogr. potasse à 40 cent. l'un, 80 fr., soit.	16 ,00
Par année.	65f,80

Phosphates riches.

1° Fumier de ferme, 180 fr. pour cinq ans, soit	36f,00
2° 300 kilogr. acide phosphorique à 27 cent. l'un, 81 fr., soit.	16 ,20
3° 200 kilogr. potasse à 40 cent. l'un, 80 fr., soit.	16 ,00
Par année.	68f,20

Phosphate précipité.

1° Fumier de ferme, 180 fr. pour cinq ans, soit.	36f,00
2° 300 kilogr. acide phosphorique à 45 cent. l'un, 135 fr., soit.	27 ,00
3° 200 kilogr. potasse à 40 cent. l'un, 80 fr., soit.	16 ,00
Par année.	79f,00

Superphosphates.

1° Fumier de ferme, 180 fr., pour cinq ans, soit.	36f,00
2° 300 kilogr. acide phosphorique à 50 cent. l'un, 150 fr., soit.	30 ,00
3° 200 kilogr. potasse à 40 cent. l'un, 80 fr., soit.	16 ,00
Par année.	82f,00

A cette dépense pour la fumure de tête, variant de 65 fr. 80 à 82 fr. l'hectare, suivant la nature des phosphates employés, il faut ajouter, pour chacune de ces trois années de récolte, le prix de la fumure azotée.

Le sol a reçu à l'hectare, en 1892 et en 1893, 45 kilogr. d'azote à l'état de nitrate de soude dans douze parcelles et sous forme de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché dans les deux autres. 300 kilogr. de nitrate de soude à 24 fr. les 100 kilogr. dans les douze parcelles, soit 72 fr. à l'hectare ; 225 kilogr. de sulfate d'am-

moniaque à 33 fr. les 100 kilogr. dans la parcelle VII, soit 74 fr. 25 à l'hectare, et parcelle VIII, 500 kilogr. de sang desséché (à 9 °/₀ d'azote), coûtant 16 fr. les 100 kilogr., soit 80 fr.

Nous laisserons de côté, au moins pour l'instant, les parcelles VII et VIII, pour ne nous occuper que des douze parcelles fumées au nitrate de soude. En 1894, le blé a reçu, en couverture, 100 kilogr. de nitrate de soude à l'hectare, soit une dépense de 24 fr. à l'hectare. Il est très probable que la partie du nitrate enfoui dans le sol, au moment de la plantation de la pomme de terre, en 1892 et 1893, qui n'a pas été utilisée par les plantes sarclées a été entraînée dans les couches profondes du sol et n'a pas profité à la récolte de blé qui a succédé aux pommes de terre ; nous affecterons donc, à chacune des récoltes de pommes de terre, la totalité de la dépense en nitrate des années 1892 et 1893, ne laissant au débit du blé que les 100 kilogr. de nitrate répandus en couverture au printemps de 1894.

Si l'on récapitule la dépense en engrais pour pommes de terre et pour blé, en tenant compte de la remarque précédente, on arrive aux totaux suivants à l'hectare pour les quatre catégories de fumures énumérées plus haut :

	POMMES DE TERRE	BLÉ
Phosphates pauvres	137f,80	89f,80
Phosphates riches	140 ,20	92 ,20
Phosphate précipité	151 ,00	103 ,00
Superphosphate	154 ,00	106 ,00

Revenons aux parcelles VII et VIII, dans lesquelles le sulfate d'ammoniaque et le sang desséché ont remplacé le nitrate de soude. La fumure de ces deux parcelles a coûté, à l'hectare :

(Sulfate) Pommes de terre	142f,20
(Sang) Pommes de terre	148 ,20 [1]

Comme nous l'avons dit, au lieu d'établir les dépenses en engrais,

1. Nous laissons de côté la fumure pour blé, les doses d'azote sous forme de sulfate et de sang employées en 1893-1894 ayant été triples de celle donnée à l'état de nitrate, ce qui ne permet plus des comparaisons rigoureuses.

en affectant à chaque récolte le coût de la fumure complémentaire afférente à cette récolte, la fumure de tête étant seule répartie également sur les cinq récoltes de l'assolement, on peut faire une évaluation totale de la dépense d'engrais prévue pour toute la durée de cet assolement et diviser le chiffre obtenu par 5, pour connaître la dépense moyenne annuelle.

Ce mode de calcul conduirait aux résultats suivants :

1° Phosphates pauvres (à l'hectare).

Fumure de tête.

Fumier	180f
Acide phosphorique	69
Potasse	80

Fumures annuelles.

Nitrate (1re et 2e années)	144
Nitrate, 100 kilogr. (3e année)	24
Nitrate, 100 kilogr. (4e année)	24
5e année, rien	00
Total	521

Soit, par année : $\frac{521}{5} = 104,20$

2° Phosphates riches.

Fumure de tête.

Fumier	180
Acide phosphorique	81
Potasse	80

Fumures annuelles.

Nitrate (1re et 2e années)	144
Nitrate (3e année)	24
Nitrate (4e année)?	24
5e année, rien	00
Total	533

Soit, par année : $\frac{533}{5} = 106,60$

3° Phosphate précipité.

Fumure de tête.

Fumier	180
Acide phosphorique	135
Potasse	80

Fumures annuelles.

Nitrate (1re et 2e années)	144
Nitrate (3e année)	24
Nitrate (4e année)?	24
5e année, rien	00
Total	587

Soit, par année : $\frac{587}{5} = 117,40$

4° Superphosphates.

Fumure de tête.

Fumier	180
Acide phosphorique	150
Potasse	80
Nitrate (1re et 2e années)	144
Nitrate (3e année)	24
Nitrate (4e année)?	24
5e année, rien	00
Total	602

Soit, par année : $\frac{602}{5} = 120,40$

Quel que soit celui des deux modes de calculs auquel on s'arrête, on arrive, pour la dépense annuelle en engrais, à des chiffres relativement peu élevés, par rapport aux excédents de rendements obtenus comparativement aux parcelles témoins. Il nous sera aisé d'établir que, même dans le cas le moins favorable, les expériences de culture du Parc des Princes ont abouti à des résultats rémunérateurs et tout à fait démonstratifs, en faveur de l'influence capitale de la fumure sur le prix de revient des pommes de terre et du blé récoltés de 1892 à 1894.

Nous avons établi le coût de la fumure afférent aux douze parcelles du champ d'expériences du Parc des Princes, pour la récolte du blé. Le seul élément de cette fumure, variable comme prix, est l'acide phosphorique, dont le kilogramme coûte, suivant la nature des phosphates employés, 23, 27, 45 et 50 cent. La dépense s'est élevée, à l'hectare, aux chiffres suivants pour les quatre catégories de phosphates :

Phosphates pauvres (6 parcelles).	89f,20
Phosphates riches et scories (4 parcelles)	92 ,20
Phosphate précipité (1 parcelle).	103 ,00
Superphosphate (1 parcelle)	106 ,00

Nous nous proposons d'établir : 1° la valeur de la récolte (grain et paille) de chacune des parcelles ; 2° la valeur des excédents de récolte par rapport aux parcelles témoins, non fumées ; 3° l'influence de la fumure sur le prix de revient de chaque quintal de grain *excédant*, paille comprise.

Nous adopterons pour ces diverses évaluations le prix de 18 fr. par 100 kilogr. de grain et celui de 3 fr. par 100 kilogr. de paille, chiffres approximatifs de la valeur vénale actuelle de ces deux denrées. La valeur des excédents de récolte est représentée par l'écart entre la valeur de la récolte de chaque parcelle envisagée et celle de la moyenne des parcelles témoins (I et XVI) qui s'établit comme suit :

Récolte moyenne à l'hectare des parcelles I et XVI :

Grain. . . . . 19qm,89 à 18 fr. =	358f,02
Paille. . 37qm,32 — le 1/10 de balles = 33 ,60 à 3 fr. =	100 ,80
Total.	458f,82

En se reportant au tableau des rendements de 1894, nos lecteurs pourront aisément calculer la valeur de la récolte de chacune des parcelles et nous nous bornerons ici à quelques indications sur la valeur moyenne des récoltes, par catégories de phosphates employés.

La valeur maximum de la récolte a été fournie par le Cambrésis : elle s'élève à 1 064 fr. 13 à l'hectare ; la valeur minimum correspond au phosphate précipité ; elle est de 669 fr. 21. L'écart, dans



le produit en argent des deux fumures phosphatées, est donc de 37,1 °/₀ en faveur du Cambrésis. Les excédents, en argent, des deux récoltes sur le produit moyen des parcelles témoins est de 605 fr. 31 (Cambrésis) et 210 fr. 39 (phosphate précipité).

En groupant les récoltes des parcelles fumées aux phosphates pauvres dont le coût en fumure est, à l'hectare, de 89 fr. 20, on arrive au résultat suivant :

	RENDEMENTS	
	En grains — quint. métr.	En paille — quint. métr.
Cambrésis	43,38	94,43
Indre	34,79	65,42
Ardennes	32,23	62,11
Somme 45/50	31,55	59,05
Portugal	31,41	64,82
Boulonnais	31,11	59,28
Rendements moyens	34,08	67,52

Ces rendements moyens ont une valeur de 613 fr. 44 pour le grain et 202 fr. 56 pour la paille, au total 816 fr., en excédent de 357 fr. 18 sur la valeur de la récolte des témoins.

Les quatre parcelles qui ont reçu des scories et des phosphates riches et dont la fumure a coûté 92 fr. 20 à l'hectare donnent à leur tour :

	PRODUITS	
	En grains — quint. métr.	En paille [1] — quint. métr.
Floride	36,95	80,92
Somme 75/80	35,98	87,46
Scories Est	34,22	68,72
Scories anglaises	32,72	66,99
Rendements moyens	34,97	76,02

Cette récolte moyenne vaut 857 fr. 52, en excédent de 398 fr. 70 sur la moyenne des parcelles témoins.

Le phosphate précipité (coût de la fumure 103 fr. à l'hectare) a produit une récolte de 27^{qm},95 de grains et 55^{qm},37 de paille, valant 669 fr. 21, en excédent de 210 fr. 39 sur les témoins.

1. Balles déduites.

Enfin, le superphosphate (coût de la fumure 106 fr.) a donné 34qm,46 de grains et 60qm,79 de paille d'une valeur totale de 802 fr. 65, en excédent de 343 fr. 83 sur les témoins.

Comme nous l'avons dit, il n'entre point dans nos vues de chercher à établir le prix de revient absolu du quintal moyen de blé récolté au Parc des Princes, dans les différentes conditions que nous avons énumérées, mais nous croyons pouvoir tirer des chiffres précédents une preuve nouvelle et très nette de la variabilité du prix de revient du froment.

N'est-il pas impossible, en effet, d'arriver à fixer un chiffre unique pour exprimer ce prix de revient, quand on constate que, dans le même sol, toutes choses étant égales d'ailleurs, sauf les frais de fumure qui ont varié dans une limite assez restreinte il est vrai (de 89 fr. 20 à 106 fr., soit de 17 fr. à l'hectare), la valeur de la récolte varie, au contraire, de 1 064 fr. à 669 fr. à l'hectare, et celle des excédents sur les parcelles sans fumure, de 408 fr. 70 à 216 fr.

Mais ce que nous ne voulons ou plutôt ne pouvons pas faire pour la récolte brute de chaque catégorie de parcelles, nous allons le tenter pour les excédents de récolte et mettre, par là, en relief d'une façon décisive l'influence de la fumure sur le prix de revient de chaque quintal de blé obtenu, *en plus*, suivant les différents engrais.

Relevons d'abord le chiffre des excédents en grains et en paille récoltés dans chaque parcelle par rapport aux parcelles témoins. Les tableaux suivants les indiquent pour les quatre catégories de fumure phosphatée :

I. Phosphates pauvres (fumure à l'hectare, 89 fr. 20).

	Excédents En grains	Excédents En paille
	quint. métr.	quint. métr.
VI. Cambrésis	23,49	60,83
V. Indre	14,90	31,82
III. Ardennes	12,34	28,51
II. Somme 45/50	11,66	25,46
IX. Portugal	11,52	31,22
IV. Boulonnais	11,22	25,68
Excédents moyens sur les témoins	14,19	33,90

Ces 14^{qm},19 ont été obtenus avec une dépense d'engrais de 89 fr. 20, toutes les autres dépenses ayant été les mêmes que celles des parcelles témoins; par conséquent, le quotient de 89 fr. 20 par 14,19 exprime le coût d'un quintal de blé d'excédent avec sa paille, soit : 6 fr. 28.

II. Scories et phosphates riches (fumure, 92 fr. 20).

		Excédents	
		En grains	En paille
		quint. métr.	quint. métr.
XI.	Floride	17,06	47,32
X.	Somme 75/80	16,09	53,87
XII.	Scories Est	14,33	35,12
XIII.	Scories anglaises	12,83	33,39
	Excédents moyens sur les témoins	15,08	42,45

En divisant 92 fr. 20, prix de la fumure qui a produit les excédents, par 15,08, on trouve 6 fr. 11 pour coût du quintal d'excédent avec sa paille.

III. Phosphate précipité (fumure, 103 fr.).

103 fr. de fumure ayant donné seulement 8^{qm},06 de grains et 21^{qm},77 de paille en excédent sur les parcelles témoins, le coût du quintal avec sa paille s'élève à 12 fr. 77.

IV. Superphosphate (fumure, 106 fr.).

On a récolté, en excédent sur les parcelles témoins, 14^{qm},57 de grains et 27^{qm},17 de paille pour une dépense de 106 fr. Le prix de revient du quintal de blé avec sa paille est donc égal à 106 : 14,57, soit 7 fr. 27.

En résumé, le coût d'un quintal de blé avec sa paille obtenu par le seul fait d'un apport d'engrais du prix de 89 fr. 20 à 106 fr. à l'hectare varie, pour nos récoltes du Parc des Princes, de 6 fr. 11 à 12 fr. 77, ce qui montre, entre autres faits intéressants, l'importance d'un choix convenable de fumure pour un sol donné, de ce choix résultant un écart de plus de 100 °/₀ dans le prix de revient de la récolte due à la fumure.

Des rapprochements établis plus haut entre la valeur totale de la

récolte de chacune des parcelles et le coût de la fumure il résulte que même dans le cas le moins favorable — celui de la parcelle XIV au phosphate précipité — l'excédent de la récolte a très largement rémunéré la dépense occasionnée par la fumure. En effet : pour le groupe I (phosphate pauvre), à une dépense de 89 fr. 20 en engrais, correspond une plus-value de récolte sur les témoins de 357 fr. 18, soit une rémunération de 400,4 °/₀. — Le groupe II (scories et phosphates riches) a donné une récolte excédente valant 398 fr. 70 pour une dépense de 92 fr. 20, soit un intérêt de 432,4 °/₀. — Le superphosphate, avec une dépense de 106 fr., a produit un excédent de récolte de 343 fr. 80, soit un bénéfice de 324,3 °/₀, et le phosphate précipité, avec une avance en engrais de 103 fr., a donné un excédent de récolte valant 210 fr. 39, soit encore une rémunération de 204,3 °/₀.

Les résultats acquis nous semblent pouvoir s'exprimer dans les quelques propositions suivantes :

1° L'assimilabilité des phosphates minéraux, par les pommes de terre et par le blé, est mise hors de doute par nos expériences (en terrain siliceux pauvre en calcaire et en humus) ;

2° Contrairement à une opinion beaucoup trop absolue et conformément aux résultats antérieurement acquis dans diverses régions de la France, les phosphates minéraux en poudre fine ont donné des rendements tout aussi élevés que les superphosphates (en sol non calcaire) ;

3° Le superphosphate qui s'est montré, à dose égale d'acide phosphorique, d'une valeur fertilisante voisine de celle de certains phosphates minéraux et supérieure à quelques-uns, dans la culture du blé, a été beaucoup moins favorable à la production de la pomme de terre ;

4° Le phosphate précipité, tout en ayant produit des récoltes rémunératrices en blé et surtout en pommes de terre, n'a pas, à beaucoup près, donné de résultats aussi favorables que les phosphates minéraux, les scories et le superphosphate. Son emploi n'est pas à recommander, du moins dans un sol analogue au nôtre ;

5° Les scories de déphosphoration nous ont donné d'excellents rendements : dans la culture de la pomme de terre, elles ont occupé

le premier rang parmi les engrais phosphatés employés ; dans la culture du blé, elles ont égalé le superphosphate et les phosphates riches;

6° Le phosphate de la Somme 75/80 nous a fourni de hauts rendements en pommes de terre et en blé ; le phosphate pauvre 45/50 a donné des résultats en général inférieurs à ceux des autres phosphates naturels ;

7° L'apatite du Portugal a été très bien utilisée par nos récoltes et doit être considérée, malgré son état cristallin, comme parfaitement assimilable par les végétaux ;

8° L'azote nitrique s'est montré de tout point supérieur en efficacité, dans ces trois années d'expériences, à l'azote ammoniacal et à l'azote organique : à prix égal, au Parc des Princes, il a fourni 33 °/ₒ de plus de produits que le sulfate d'ammoniaque et le sang desséché ;

9° Une association convenable de nitrate, d'acide phosphorique et de potasse nous a permis d'obtenir un excédent de 14 à 15 quintaux de blé (sur les parcelles témoins) au prix de 6 fr. environ le quintal de grains avec sa paille ; si l'on défalquait de ce prix la valeur de la paille, on arriverait à un prix de 4 à 5 fr. par quintal de grains en excédent. Ces chiffres confirment ceux auxquels nous sommes depuis longtemps arrivés dans les cultures expérimentales de la station agronomique de l'Est à Nancy, et à l'école Mathieu-de-Dombasle ;

10° Enfin, les cultures du Parc des Princes ont mis en relief l'énorme avantage qui résulte de l'ameublissement et de la porosité du sol sous l'influence des labours profonds, dont on ne saurait trop recommander la pratique dans la plupart des sols.

L. Grandeau, directeur,
E. Bartmann, chef des travaux.

Station agronomique de l'Est,
Paris, le 1er juillet 1905.

LES

VINS D'ALGÉRIE

AU POINT DE VUE

DE LEUR CONSTITUTION CHIMIQUE

N° 2

RÉGIONS D'ORLÉANSVILLE (PLAINE DU CHÉLIFF)
ET DU LITTORAL DE TÉNÈS A TIPAZA

Par J. DUGAST

I. RÉGION D'ORLÉANSVILLE

La vallée du Chéliff forme une longue plaine qui s'étend depuis Affreville jusqu'à Relizane dans le département d'Oran, dirigée du sud-ouest au nord-ouest, de largeur très variable et bornée au nord par un massif montagneux d'une hauteur moyenne de 400 mètres au-dessus de la plaine qui est elle-même à une altitude générale variant entre 300 et 100 mètres; elle est limitée au sud par un autre massif montagneux s'élevant en moyenne à 250 mètres au-dessus de la même plaine.

Tout cet ensemble est formé par des alluvions quaternaires anciennes ou modernes et de nature plus ou moins argileuse. Les pluies sont peu abondantes, $0^m,400$ à $0^m,450$, et leur répartition est souvent défectueuse pour les cultures.

La température moyenne ne présente pas des écarts anormaux, mais, en hiver, on observe des minima pouvant descendre jusqu'à — 9° et, en été, des maxima qui atteignent + 50°.

Pendant l'été, l'insolation est excessive, l'air est sec et l'évaporation considérable.

En résumé, la plaine du Chéliff présente un climat extrême, difficile pour les animaux et les plantes annuelles. La vigne pousse vigoureusement dans cette région comme dans les autres contrées viticoles de la colonie, mais la végétation souffre dans les années très sèches et s'arrête avant l'heure.

Les gelées printanières sont aussi quelquefois à craindre. Ces conditions climatériques locales ne sont pas sans avoir une influence sur la maturité, sur la constitution des raisins et sur la vinification.

La maturité ne se fait pas toujours régulièrement, de là des variations assez grandes dans la composition des raisins. Quant à la vinification qui a lieu de bonne heure, dans des conditions plutôt défavorables, elle présente des difficultés qu'il est facile de surmonter depuis l'usage des réfrigérants.

D'ailleurs, le vignoble de cette région ne présente pas encore une importance bien considérable et sa production, qui peut être évaluée à environ 100 000 hectolitres, ne représente qu'une très faible partie de la production algérienne.

Les principaux cépages cultivés sont le mourvèdre, le cinsault, le carignan et le morastel pour les rouges ; viennent ensuite le petit-bouschet, le grenache, l'aspiran, etc. Parmi les cépages blancs, il faut citer la clairette et le ferranah.

Grâce à la siccité de l'air, les maladies cryptogamiques sont bien moins redoutables que sur le littoral.

L'irrigation des vignes pendant l'hiver ou en été, là où elle est possible, est aussi un facteur important de la production. La culture de la vigne s'est surtout développée autour des principaux centres de la région : Orléansville, Duperré, Mouzaïaville, Lavarande, El-Affroun, etc., mais on la trouve aussi installée dans la plupart des nouveaux villages.

Quand la vinification a été faite dans des conditions défectueuses,

la conservation du vin est rendue très aléatoire pendant les fortes chaleurs de l'été, aussi est-il prudent de ne garder que les vins solides et bien constitués.

Malgré cela, le vin est toujours menacé dans sa conservation et il faut des soins constants pour éviter son altération. Il est pourtant possible de faire, même dans cette région, de bons vins ordinaires, et les viticulteurs avisés sont déjà parvenus à obtenir des résultats très satisfaisants.

Les vins se présentent avec des caractères différents suivant qu'ils sont récoltés dans les parties les plus basses du bassin, sur les parties mamelonnées, ou à une altitude plus élevée, sur les versants qui bordent la plaine. On ne retrouve pas ici cette homogénéité que nous avons fait ressortir dans les régions précédemment étudiées. Par leur composition, ils rentrent dans la catégorie des bons vins de plaine, mais présentent les plus grandes variations au point de vue des qualités organoleptiques.

II. RÉGION LITTORALIENNE DE TÉNÈS A TIPAZA

Cette zone littoralienne, qui s'étend jusqu'à l'embouchure du Chéliff, est parallèle à la région précédente dont elle est séparée par un massif montagneux qui oblige les nuages venant de la mer à s'élever et souvent à se résoudre en pluie. Il en résulte qu'elle est arrosée plus abondamment que la plaine du Chéliff. Cette région est surtout formée par des terrains crétacés (marnes, grès et quartzites) avec des affleurements tertiaires (miocène) et quelques îlots de terrain éruptif.

La culture de la vigne, localisée autour des centres disséminés sur cette longue bande de territoire : Ténès, Villebourg, Gouraya, Cherchell, Tipaza, etc., n'est pas encore bien développée, mais elle tend à s'accroître au fur et à mesure que les communications deviennent plus faciles.

Les principaux cépages cultivés sont le carignan, le morastel, le petit-bouschet, la clairette, etc. On trouve aussi quelques planta-

tions de cépages fins, comme le pinot, et des cépages indigènes, comme le ferranah et l'aïn-el-kelb.

Les derniers vignobles s'arrêtent un peu au delà de Ténès, à la limite du Dahra, se développant ainsi sur une longueur de plus de 100 kilomètres avec d'énormes solutions de continuité. Cela explique qu'on ne saurait trouver une grande uniformité dans les produits de localités aussi éloignées, dans des vignobles de création récente et dans d'autres déjà anciens. La vinification est d'ailleurs fort inégale, mais lorsqu'elle est bien faite, le vin est, en général, de bonne qualité.

A en juger par les échantillons que j'ai eus entre les mains, on peut facilement obtenir des vins foncés en couleur, alcooliques, susceptibles de faire de bons vins de coupage. Naturellement, la production de ces vins de coupage robustes et fortement colorés implique un rendement assez faible, mais dans les années d'abondance, ils ne subissent pas la même dépréciation que les petits vins de plaine. Les différentes régions doivent se spécialiser suivant les conditions de sol et de climat qui leur sont propres.

On trouve également des vins blancs faits avec des cépages indigènes, vinifiés seuls ou en mélange avec la clairette, de très bonne qualité. L'aïn-el-kelb donne d'abord un vin ayant du corps, un bon goût de fruit et un frais arome, bien que l'acidité totale soit peu élevée, mais, plus tard, en vieillissant, il devient capiteux, perd sa fraîcheur et se madérise rapidement. Ce caractère se manifeste aussi dans les mélanges où entre l'aïn-el-kelb en proportion notable, et j'estime que cette propriété le désigne pour la production de certains vins de liqueur.

Somme toute, la qualité des vins de cette région varie, comme partout, avec les années, les cépages dont ils proviennent et les conditions locales de sol et de climat, tout en présentant cependant certains caractères communs dans chaque centre de production. Les vins de choix ont une originalité propre à laquelle tiennent les vrais consommateurs, c'est-à-dire ceux qui ne se contentent pas des vins anonymes du commerce.

Au point de vue de leur constitution chimique, ils peuvent être classés dans la catégorie des vins de coteaux. Les vins auxquels on

Région d'Orléansville

NUMÉROS	LOCALITÉS	NATURE DU SOL et altitude	CÉPAGES ET RENDEMENTS A L'HECTARE	ANNÉES	OBSERVATIONS	ALCOOL	EXTRAIT sec	ACIDITÉ totale	ACIDITÉ volatile	SUCRE	CENDRES
			1° *Vins rouges*								
153	Morand	»	»	1900	»	10,80	18,50	3,78	0,86	1,33	3,60
154	Carnot	»	»	1900	»	9,40	26,00	5,16	1,12	1,98	3,22
155	Idem	»	»	1900	»	10,90	26,50	5,62	1,01	3,00	1,10
156	Idem	»	»	1900	»	11,20	26,80	4,82	0,81	2,80	2,10
157	Morand	»	»	1900	»	12,00	20,60	4,18	0,86	1,33	3,60
158	Warnier	»	»	1900	»	11,20	28,20	5,41	2,45	2,90	3,15
159	Kherba	»	»	1900	»	11,20	25,54	3,93	1,15	5,00	3,80
160	Rabelais	»	»	1900	»	10,60	21,61	4,43	1,44	3,52	3,10
161	Carnot	»	»	1899	»	10,00	28,20	6,31	1,08	1,70	3,60
162	Ponteba	»	»	1899	»	11,00	22,90	4,92	1,35	3,75	2,00
163	Malakoff	»	»	1899	»	9,70	24,60	6,40	2,17	2,32	2,16
164*	Idem	Terre blanche du Chéliff irriguée.	Morastel, carignan, alicante (40 hectol.)	1899	Mauvais	11,70	25,72	5,77	2,76	2,05	2,56
165*	Ponteba	Terre calcaire.	— — — (20 hectol.)	1899	Médiocre	12,20	31,00	5,16	1,77	2,05	2,24
166	Morand	»	»	1898	»	11,20	17,00	4,82	1,76	0,46	3,26
167	Idem	»	»	1897	»	11,00	16,75	7,38	3,26	0,60	3,00
168	Idem	»	»	1896	»	11,00	17,30	6,89	3,18	0,70	3,36
			2° *Vins blancs*								
169	Morand	»	»	1900	»	10,50	12,90	4,92	1,43	1,48	1,08
170	Malakoff	»	»	1899	»	11,00	24,60	5,41	2,25	2,38	2,15
171*	Idem	Terre blanche du Chéliff irriguée.	Morastel, carignan, alicante (44 hectol.)	1899	Médiocre. Goût défectueux	12,70	26,12	4,16	1,72	2,97	2,72

NOTA. — Les analyses (sauf les numéros *) sont dues à M. J. Sarthou, pharmacien aide-major à Orléansville (*Journal de pharmacie et de chimie* du 15 décembre 1901.)

Région littoralienne de Ténès à Tipaza

NUMÉROS	LOCALITÉS	NATURE DU SOL et altitude	CÉPAGES ET RENDEMENTS A L'HECTARE	ANNÉES	OBSERVATIONS	ALCOOL	EXTRAIT sec	ACIDITÉ totale	ACIDITÉ volatile	SUCRE	CENDRES	TANNIN
			1° Vins rouges									
172	Tipaza	»	»	1903	Mauvais	12,7	28,10	3,61	2,28	1,65	»	»
173	Idem	»	»	1903	Médiocre	12,4	36,90	4,08	1,71	5,96	»	»
174	Idem	»	»	1903	Bon	12,3	36,25	3,80	1,23	4,15	»	»
175	Ténès	»	Morastel et carignan	1902	Bon	14,10	46,50	3,94	0,84	11,25	3,90	1,60
176	Idem	»	Petit-bouschet	1902	Bon	14,10	51,90	5,02	0,90	7,05	4,22	2,88
177	Idem	»	Pinot	1902	Bon	15,4	42,00	5,77	0,93	7,00	3,10	2,38
178	Idem	»	»	1900	»	11,20	23,00	4,01	0,96	3,10	2,68	»
179	Desaix	»	Carignan (60 hectolitres)	1899	Bon	11,20	25,84	4,31	0,81	1,42	3,12	»
180	Tipaza	»	»	1899	Un peu acerbe.	10,05	23,40	4,90	1,03	1,26	2,00	»
181	Desaix	»	Carignan (110 hectolitres)	1899	Bon	11,15	28,60	5,25	0,78	1,35	3,52	»
182	Tipaza	»	»	1899	Bon	11,25	22,80	3,94	1,00	1,26	2,28	»
183	Villebourg	Schisteux (75 mètres).	Carignan, morastel, alicante, mourvèdre-cot	1899	Bon	12,25	28,96	4,19	1,08	3,71	2,80	»
184	Gouraya	»	»	1899	Bon	11,50	27,80	4,77	1,27	1,10	2,06	»
185	Idem	»	»	1899	Médiocre	10,60	27,00	5,19	2,08	1,04	3,52	»
186	Ténès	»	Carignan	»	Très bon	13,60	30,00	4,09	1,25	5,38	3,60	»
187	Idem	»	Carignan	»	Médiocre	13,30	30,16	5,28	2,10	4,08	2,60	»
188	Idem	»	Pinot	»	Très bon	13,40	29,92	4,62	0,77	4,18	2,40	»
189	Fontaine du Génie.	»	»	»	Médiocre	12,30	30,40	4,51	1,92	2,56	2,40	»
190	Novi	»	»	»	Mauvais	10,55	35,32	6,35	2,95	7,79	2,80	»
191	Cavaignac	»	»	1898	»	11,45	31,80	6,46	2,65	1,07	2,92	»
192	Oued-Damous	»	»	1897	Passable	12,60	37,20	6,85	1,68	2,88	3,40	»
193	Gouraya	»	»	1897	Bon	11,15	26,80	4,24	1,09	0,98	3,92	»
			2° Vins blancs									
194	Tipaza	»	Clairette, aïn-el-kelb, ferranah	1903	Bon	13,1	21,75	3,99	0,47	1,50	»	»
195	Idem	»	»	1903	Bon	12,7	20,50	4,33	1,19	2,74	»	»
196	Idem	»	»	1903	Médiocre	12,4	23,60	4,14	0,76	5,85	»	»
197	Idem	»	»	1903	Médiocre	12,6	23,00	4,98	1,56	3,01	»	»
198	Idem	»	»	1899	Bon	11,25	18,00	4,09	0,81	0,62	2,60	»
199	Desaix	»	Blanc de rouge (150 hectolitres)	1899	Bon	10,70	19,80	4,86	0,96	3,08	2,60	»
200	Ténès	»	»	1899	Bon	10,9	18,56	3,87	0,57	1,73	2,10	»
201	Cavaignac	»	»	1898	Médiocre	12,45	27,32	3,02	1,47	2,97	1,72	»

peut reprocher un excès d'acidité, proviennent des caves qui ont un matériel vinaire insuffisant et où les soins ne sont pas donnés d'une manière rationnelle.

Nos richesses viticoles se présentent sous tant de formes intéressantes que nous n'avons pas la prétention, dans ces tableaux successifs, d'en donner une nomenclature complète, mais simplement d'en présenter les premiers éléments pour les diverses régions.

Les résultats analytiques ont été obtenus par les méthodes déjà décrites dans le premier mémoire de cette étude sur les vins d'Algérie (1). Cependant, la détermination du degré alcoolique présentant une importance pratique de premier ordre, nous avons jugé utile d'en faire une étude détaillée qu'on trouvera plus loin.

D'autre part, la question des composés du soufre qu'on trouve dans les vins étant à l'ordre du jour, nous avons fait suivre ces tableaux d'une note sur ce sujet.

SOUFRE

La proportion des composés du soufre dans les vins est extrêmement variable suivant leur origine et les traitements auxquels ils ont été soumis. Il y a lieu de distinguer d'abord entre les composés naturels, c'est-à-dire ceux qui sont apportés par les raisins, et les composés ajoutés pendant ou après la fabrication.

Les composés du soufre apportés par les raisins se divisent eux-mêmes en deux catégories : ceux qui font partie intégrante du grain de raisin et qui constituent les *composés naturels du soufre dans le vin* et ceux qui recouvrent spécialement des organes de la grappe et qui proviennent de l'emploi du soufre et des sulfates pour combattre les maladies de la vigne. Ces derniers se comportent comme les produits ajoutés à la vendange.

Le soufre se trouve dans les raisins, comme dans la plupart des végétaux, sous forme de sulfates, dont la dose varie avec les terrains et doit être relevée par l'emploi des sulfates ; de combinaisons com-

1. *Annales agronomiques*, t. XVIII, n° 8, août 1902.

plexes (albuminoïdes ou autres), ne précipitant pas directement par le chlorure de baryum, mais transformables en sulfates par oxydation.

Pour déterminer les composés naturels du soufre dans un vin, il faudrait avoir soin de le préparer avec des raisins lavés à l'eau distillée.

L'emploi du soufre et des sulfates au vignoble, l'usage du plâtre, de l'acide sulfureux, des sulfites, bisulfites, etc., pendant ou après la vinification, sont des opérations susceptibles d'augmenter notablement la teneur naturelle des vins en soufre combiné.

Le plâtrage introduit dans le vin, par double décomposition avec la crème de tartre, du sulfate acide de potasse et un peu de sulfate de chaux. Il y a aussi souvent de petites quantités de sulfate de magnésie, d'alumine, etc., provenant des impuretés du plâtre employé. Les composés du soufre apportés par la vendange subissent plus ou moins les mêmes décompositions.

L'emploi des sulfites et bisulfites conduit au même résultat ; ces corps se décomposent en présence de l'acide tartrique du vin et l'acide sulfureux est mis en liberté.

Une partie de l'acide sulfureux s'oxyde immédiatement au contact de l'oxygène que le vin peut renfermer pour donner de l'acide sulfurique, puis des sulfates. Tout l'acide sulfureux doit finalement aboutir à cet état dans un temps plus ou moins long.

Quant au soufre qui peut se trouver sur les raisins, une partie se transforme en hydrogène sulfuré pendant la fermentation, lequel corps, en présence de l'acide sulfureux produit par le méchage, passe aussi à l'état d'acide sulfurique.

Toutes ces pratiques tendent donc à augmenter la proportion des sulfates dans le vin, de sorte que le dosage de l'acide sulfurique ne donne que des renseignements imparfaits sur la quantité de soufre combiné apportée naturellement par le jus des raisins. Nous avons pensé qu'il y avait là un point à éclaircir et qu'il importait de faire le départ entre l'acide sulfurique (sulfates), l'acide sulfureux et les composés organiques du soufre. Nous avons ainsi fait préparer des vins avec des raisins lavés à l'eau distillée et ressuyés de manière à éliminer les composés du soufre apportés artificiellement.

Nous allons donc examiner successivement :

1° Les composés naturels du soufre que renferme le vin, savoir :

a) Sulfates préexistants ;

b) Soufre engagé dans les combinaisons organiques ;

2° L'acide sulfureux libre ou combiné apporté par les produits sulfureux employés en vinification.

1° Sulfates

La détermination des sulfates dans le vin ne présente aucune difficulté. On prend 100 centimètres cubes de vin que l'on étend d'un peu d'eau distillée (lavage du ballon jaugé), on y ajoute 1 centimètre cube d'acide chlorhydrique et on porte à l'ébullition ; on y verse ensuite un excès de chlorure de baryum et on laisse bouillir cinq minutes. Le sulfate de baryte est recueilli et pesé avec les précautions usitées.

Avec certains vins, le sulfate de baryte se dépose très lentement et la filtration est longue et difficile.

2° Soufre

Le soufre engagé dans les combinaisons complexes peut être oxydé, transformé en acide sulfurique et dosé ensuite à l'état de sulfate de baryte. Mais ces composés ne sont transformables en sulfate que partiellement par l'incinération et en bien plus forte proportion par l'acide nitrique fumant.

Voici, dans les deux cas, la manière de procéder :

a) **Oxydation par l'acide nitrique fumant.** — 100 centimètres cubes de vin sont additionnés de 8 centimètres cubes d'acide azotique fumant ; on porte ensuite à l'ébullition que l'on maintient jusqu'à ce que le liquide soit clair (environ une demi-heure). On ajoute de l'eau distillée bouillante pour ramener au volume primitif et on précipite par le nitrate de baryte en excès.

b) **Incinération.** — On prend 50 centimètres cubes de vin qu'on évapore à sec dans une capsule de platine et qu'on incinère douce-



ment, sans fondre les cendres. On reprend le résidu par l'eau et l'acide chlorhydrique, on filtre et on opère comme précédemment.

Le tableau suivant indique les résultats obtenus par ces trois méthodes avec quelques vins préparés sans aucune espèce d'addition de produits étrangers, les trois derniers exceptés (vins plâtrés).

NUMÉROS DES VINS	SULFATE DE POTASSE (SO^4K^2) PAR LITRE		
	Dosage direct des sulfates préexistants	Dosage des sulfates par incinération	Dosages des sulfates après traitement par acide nitrique fumant
—	—	—	—
0—30	0,195	0,300	0,751
0—33	0,300	0,390	0,900
0—42	0,315	0,450	0,771
0—43	0,328	0,420	0,750
0—44	0,300	0,390	0,849
0—48	0,840	0,870	1,177
0—50	0,330	0,452	0,799
0—51	0,435	0,468	0,758
0—49	0,462	0,570	0,926
0—B	0,795	0,900	1,545
Carignan n° 3	2,590	2,600	2,720
Mourvèdre n° 7	2,720	2,800	3,030
Clairette n° 12	0,500	0,530	0,590

Ces résultats montrent clairement qu'une partie seulement du soufre contenu dans le vin se trouve à l'état de sulfates et qu'une forte proportion, souvent plus de la moitié, quelquefois les deux tiers, se trouve engagée dans des composés organiques complexes d'où il ne peut être libéré que par une oxydation énergique.

L'incinération fait perdre une notable proportion de soufre. Il y a là un fait analogue à ce qui a été constaté par M. Garola pour le phosphore. La calcination des matières organiques fait perdre, en moyenne, 31 °/₀ de la quantité de l'acide phosphorique se trouvant dans ces matières (Garola).

MM. Berthelot et André ont indiqué un procédé de dosage pour déterminer la totalité du soufre et du phosphore dans les matières organiques. Cette méthode consiste à opérer la combustion de la matière, préalablement desséchée à 100°, à une température voisine du rouge sombre, d'abord dans un courant d'air, puis dans un cou-

rant d'oxygène et à diriger les vapeurs provenant de la combustion sur une longue colonne de carbonate de potasse pure qui absorbe les composés du soufre et du phosphore. La matière placée dans une nacelle de platine est introduite dans un tube de verre dur en avant de la colonne de carbonate de potasse.

Il serait intéressant de faire l'application de cette méthode aux vins et de comparer les résultats qu'elle donne avec ceux fournis par les procédés que nous venons d'indiquer.

La pratique du plâtrage est déjà fort répandue en Algérie. C'est bien à tort que les viticulteurs s'imaginent ainsi améliorer la vinification et ce sont en général les mauvais vins qu'on trouve surplâtrés. C'est ainsi que le nº 35 de nos tableaux d'analyses, tout à fait mauvais, contient 6gr,40 de sulfate de potasse par litre !

Les vins provenant des terrains salés, comme les numéros B et 48, peuvent contenir naturellement une dose de sulfate de potasse telle qu'ils pourraient être considérés comme légèrement plâtrés.

Partout ailleurs, la teneur naturelle des vins algériens en sulfates est beaucoup plus faible ; elle ne dépasse guère 0gr,33 de sulfate de potasse, correspondant à 0,15 d'acide sulfurique, et se maintient le plus souvent en dessous.

ACIDE SULFUREUX

Le rôle de l'acide sulfureux en vinification est très important. On fait usage de l'acide sulfureux pour assainir les futailles destinées à recevoir le vin et à chaque soutirage on fait brûler une mèche soufrée pour soutirer à l'abri de l'air les vins faits.

On emploie encore l'acide sulfureux pour arrêter la fermentation (*mutage*), pour préserver les vins de la maladie de la casse, pour la vinification en blanc des raisins rouges, pour fixer la couleur dans la vinification en rouge, etc.

L'acide sulfureux introduit dans le vin par la combustion du soufre, l'addition d'acide sulfureux liquide ou par les préparations à base d'acide sulfureux (sulfites et bisulfites alcalins), ne reste pas

longtemps sous cette forme : une partie s'oxyde et passe à l'état d'acide sulfurique qui, déplaçant les acides organiques unis à la potasse, forme du sulfate de potasse ; une autre partie se combine aux corps à fonction aldéhydique, principalement avec l'aldéhyde éthylique, en donnant l'acide aldéhyde-sulfureux. L'acide sulfureux ainsi combiné à l'aldéhyde n'a plus son odeur piquante et est physiologiquement inoffensif d'après les expériences de MM. Schmidt et Ripper.

Enfin, une dernière partie reste dans le vin à l'état d'acide sulfureux libre ; c'est elle qui agit comme antiseptique et comme paralysant de la levure et de la diastase (oxydase). Il en résulte que l'action antiseptique de l'acide sulfureux n'est en somme que temporaire et va en s'affaiblissant de plus en plus ; d'autant plus rapidement que l'oxydation est plus énergique et que les substances du vin avec lesquelles il peut entrer en combinaison sont en plus grande proportion.

Pour obtenir une stérilisation prolongée, il faut multiplier les traitements à moins d'exagérer les doses d'acide sulfureux et, dans les deux cas, on peut arriver à incorporer au vin des doses assez élevées pour amener des troubles dans l'organisme. C'est ainsi que pour mettre un terme aux abus qui se sont produits par l'usage des préparations sulfitées, certains pays ont reconnu la nécessité de réglementer l'emploi de l'acide sulfureux et d'imposer une limite maxima au delà de laquelle les vins sont considérés comme impropres à la consommation.

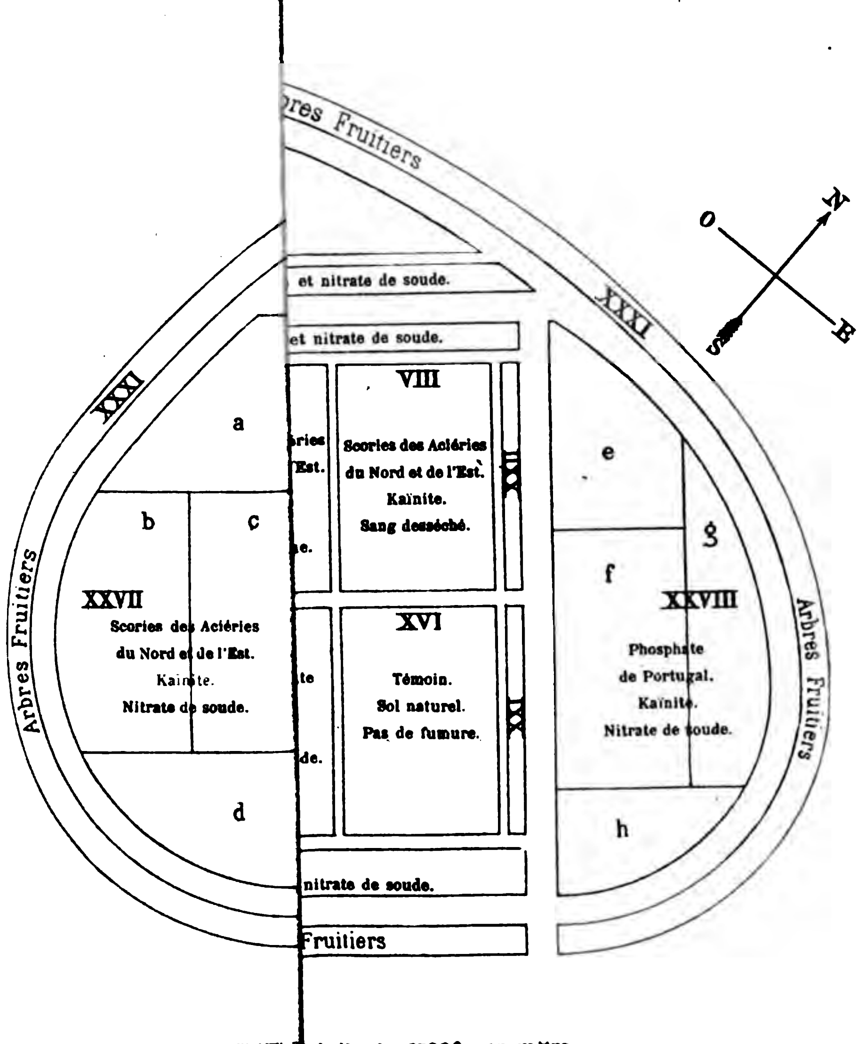
La plupart des mesures légales adoptées font d'ailleurs, avec juste raison, une distinction entre les divers états de l'acide sulfureux dans les vins.

C'est ainsi qu'en Suisse, la Société des chimistes-analystes indique les limites suivantes : $0^{gr},020$ pour la teneur en acide sulfureux libre par litre et $0^{gr},200$ pour la teneur en acide sulfureux total.

La même réglementation est adoptée en Belgique (loi du 28 novembre 1899).

En Autriche-Hongrie, la dose d'acide sulfureux libre est limitée à $0^{gr},008$ par litre ; de même en Roumanie.

En Italie, les vins qui contiennent plus de $0^{gr},200$ d'acide sulfu-



NANCY_LITH Échelle de 0m002 par mètre.

reux total ou plus de 0gr,020 d'acide sulfureux libre, sont considérés comme sophistiqués (loi du 25 mars 1900).

Aux États-Unis, une réglementation analogue a été récemment mise en vigueur et les vins qui dépassent ces chiffres sont rigoureusement refusés par la douane (1).

Dans la République Argentine, la nouvelle loi sur les vins interdit la vente de ceux qui contiennent plus de 0gr,200 de sulfite ou plus de 0gr,020 d'acide sulfureux libre.

En France, nous n'avons encore actuellement aucune loi qui limite la proportion d'acide sulfureux que l'on peut rencontrer dans les vins, bien que cette question ait été l'objet de diverses études, notamment du comité technique d'œnologie qui, beaucoup moins sévère, a adopté les résolutions suivantes : Il convient d'adopter comme limite maximum de la teneur d'acide sulfureux pour tous les vins du vignoble français, au moment où ils sont livrés à la consommation, la dose de 400 milligrammes d'acide sulfureux total par litre calculée d'après la méthode de Haas et avec une tolérance de 10 °/o.

On est convenu de désigner sous le nom d'acide sulfureux libre celui qui est réellement libre, à l'état de sels ou de combinaisons oxydables à froid par l'iode et par celui d'acide sulfureux combiné, celui qui existe sous forme de combinaisons ne s'oxydant pas par l'iode à froid en milieu acide (aldéhyde-sulfureux, etc.).

L'acide sulfureux total est la somme du libre et du combiné.

Le dosage de l'acide sulfureux total ne présente pas de difficultés et peut se faire avec précision. Les procédés qui ont été proposés pour doser l'acide sulfureux libre n'offrent pas la même garantie d'exactitude. Cette constatation est d'autant plus regrettable que la tolérance pour l'acide sulfureux libre est fixée entre des limites beaucoup plus étroites.

Acide sulfureux total. — On emploie la méthode de Haas légèrement modifiée. Un ballon de 350 centimètres cubes de capacité

1. Toutefois, les vins en bouteilles sont admis jusqu'à concurrence de 0gr,350 d'acide sulfureux total, à la condition que l'étiquette en porte la mention.

environ est fermé par un bouchon à trois trous : l'un des trous est traversé par un tube muni d'un entonnoir avec une pince et plongeant jusqu'au fond du ballon ; dans l'autre passe un tube de verre adapté à un réfrigérant ; enfin le troisième trou porte un tube de verre relié à un producteur d'acide carbonique et plongeant aussi jusqu'au fond du ballon. L'extrémité du tube du réfrigérant est terminée par une pointe effilée qui plonge dans une fiole conique contenant environ 50 centimètres cubes d'iode $^N/_{50}$ dans l'iodure de potassium (2gr,54 d'iode et 3 à 4 grammes d'iodure de potassium par litre).

L'appareil étant ainsi préparé, on fait passer un courant d'acide carbonique pour chasser l'air, puis on ralentit le courant de manière qu'il ne passe plus que bulle à bulle et on introduit alors 50 centimètres cubes de vin dans l'entonnoir qu'on lave ensuite avec de l'acide phosphorique (environ 1 centimètre cube) étendu d'eau. On chauffe de manière à distiller environ la moitié du volume total et, à la fin de l'opération, on fait à nouveau passer un courant plus rapide d'acide carbonique pour balayer l'appareil.

A ce moment, on enlève la fiole, on chasse l'excès d'iode par l'ébullition et on dose l'acide sulfurique formé par précipitation au moyen du chlorure de baryum. Le poids du sulfate de baryte multiplié par 0,274 donne le poids d'acide sulfureux total contenu dans les 50 centimètres cubes de vin examiné.

Acide sulfureux libre. — M. Rocques a indiqué un procédé qui n'est applicable qu'aux vins blancs et qui est basé sur l'emploi d'une solution d'iode titrée avec l'iodure d'amidon comme indicateur. A 50 centimètres cubes de vin on ajoute quelques centimètres cubes d'acide sulfurique dilué au tiers, un peu de solution d'amidon, puis on y verse goutte à goutte une solution d'iode $^N/_{50}$ jusqu'à ce qu'on obtienne la coloration bleue caractéristique qui indique que l'iode est en excès.

Pour les vins rouges, on peut séparer l'acide sulfureux libre du liquide en l'entraînant par un courant de gaz carbonique, à la température ordinaire, mais cet entraînement est toujours long et il n'est pas certain que l'acide sulfureux ainsi recueilli soit uniquement

constitué par de l'acide sulfureux libre. Le courant gazeux barbote dans le vin et vient ensuite se dépouiller de son acide sulfureux dans de l'iode titré.

MM. Mathieu et Billon ajoutent au vin de l'iode en excès et détruisent ensuite l'iode qui n'a pas servi à oxyder l'acide sulfureux libre par de l'arsénite de soude.

Il ne reste ainsi dans le vin que l'acide sulfureux combiné qu'on dose suivant le procédé Haas. On obtient ensuite l'acide sulfureux libre par différence, en retranchant l'acide sulfureux combiné de l'acide sulfureux total. Voici comment les auteurs procèdent : on introduit 100 centimètres cubes de vin dans le ballon préalablement purgé d'air ; on ajoute ensuite environ 2 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, puis une quantité suffisante d'une solution d'iode $^{N}/_{50}$ pour oxyder l'acide sulfureux libre. Quelques minutes après, on ajoute un égal volume de solution d'arsénite de soude, de manière à avoir un excès d'arsénite. On a soin, préalablement, de titrer la solution d'arsénite de soude pour qu'elle corresponde à peu près volume à volume avec la solution d'iode $^{N}/_{50}$. Pour cela, on prépare une solution d'arsénite (1 gramme d'acide arsénieux avec 3 grammes de carbonate de soude qu'on dissout à chaud avec 500 centimètres cubes d'eau et qu'on étend à 1 litre) qu'on dilue après titrage.

On procède ensuite comme pour le dosage de l'acide sulfureux total et le poids du sulfate de baryte formé correspond à l'acide sulfureux combiné.

La quantité suffisante d'iode à ajouter au vin se détermine par un essai préalable effectué sur 10 centimètres cubes de vin : on verse l'iode dans le vin jusqu'à ce qu'une goutte du liquide portée sur une goutte d'empois d'amidon (1 gramme d'amidon dissous dans 100 centimètres cubes d'eau) donne la coloration bleue de l'iodure d'amidon.

Quoi qu'il en soit, la quantité d'acide sulfureux qu'on trouve dans les vins de la colonie à l'état libre ou combiné est fort variable. Elle est en général assez faible et sans inconvénient ; on n'en trouve des proportions notables que dans les vins malades qui ont subi des traitements répétés, sans cependant en rencontrer des doses excessives comme dans certains vins de la Gironde.

Certains vins faits en blanc en contiennent aussi une dose élevée pendant les premiers mois. C'est ainsi que dans nos expériences de 1901, relatives à l'influence du bisulfite de potasse et du méchage sur la vinification, nous avons obtenu les résultats suivants :

	ACIDE SULFUREUX total par litre au premier soutirage
Vin témoin	»
Vin bisulfité par une addition de 30 grammes de bisulfite par 100 kilogr. de vendange	0,096
Vin bisulfité par une addition de 50 grammes de bisulfite par 100 kilogr. de vendange	0,126
Vin obtenu avec de la vendange introduite dans une amphore méchée jusqu'à extinction	0,130

DÉTERMINATION

DU

DEGRÉ ALCOOLIQUE DES VINS

Par J. DUGAST

L'ensemble des qualités d'un vin commun, pour une même région, suit à peu près une marche parallèle à celle de l'alcool qu'il renferme naturellement, quand il est sain et bien conservé. De là l'usage qui s'est établi et qui tend à se généraliser de plus en plus de vendre et d'acheter les vins au degré alcoolique. C'est un premier pas fait dans l'évaluation rationnelle de la valeur des vins d'après leur teneur en éléments utiles. L'alcool est en effet le principe alimentaire de beaucoup le plus important du vin. Un bon vin contient 80 à 100 grammes d'alcool par litre et seulement 25 grammes d'extrait, parmi lesquels sont des substances dont la valeur alimentaire est douteuse ; le reste c'est de l'eau. L'alcool au contraire est un aliment de choix qui, pris à une dose ne dépassant pas 1 gramme par kilogramme de poids vif et par jour, est rapidement brûlé et utilisé.

On évalue les vins au degré d'alcool, comme on estime les betteraves d'après leur richesse en sucre, les engrais d'après leur teneur en azote, en acide phosphorique et en potasse, comme on estime les fourrages d'après le taux de protéine, de matière grasse et d'extractifs. Mais on corrige ce qu'a d'excessif ce mode d'évaluation qui



ne tient pas compte des qualités gustatives du vin, en faisant varier le prix du degré-hectolitre d'après l'appréciation de ces qualités au moyen de la dégustation.

Il en résulte que la détermination du degré alcoolique du vin, qui, pendant longtemps, a été considérée comme une opération destinée à renseigner le producteur ou le négociant sur la richesse alcoolique approximative de ce produit, est devenue au contraire, depuis quelques années, le principal facteur de l'évaluation définitive de la valeur du vin. Il en résulte aussi qu'on ne peut plus se contenter d'une détermination approchée et qu'on doit connaître exactement la richesse alcoolique, afin d'éviter les difficultés et les contestations qui ne sauraient manquer de se produire en présence d'un dosage inexact lésant vendeur ou acheteur.

Or, j'ai pu constater que la plupart de ceux qui sont intéressés dans la question, viticulteurs et négociants, ne la connaissent que d'une manière superficielle et ignorent les principes scientifiques sur lesquels repose la détermination du degré alcoolique.

Nous allons donc essayer d'examiner cette question qui intéresse au plus haut degré le producteur et le négociant.

Et d'abord, il n'est pas inutile de jeter un coup d'œil sur les différentes méthodes qui ont été proposées pour doser l'alcool. Les unes sont basées sur ses propriétés physiques, les autres sur ses propriétés chimiques.

Dans la première catégorie nous trouvons les suivantes :

1° *Tension de vapeur.* — La tension de la vapeur d'alcool est de beaucoup supérieure à celle de la vapeur d'eau. Geisler a établi sur ce principe un appareil dont la colonne de mercure s'élève d'autant plus haut que le liquide est plus riche en alcool.

2° *Attraction capillaire.* — L'expérience montre que l'eau distillée s'élève beaucoup plus haut dans un tube de petit diamètre (capillaire) que l'alcool. L'appareil Musculus est construit sur ce principe.

3° *Dilatation.* — La dilatation de l'alcool de 0 à 78',3 est d'environ 3,33 fois celle de l'eau dans les mêmes limites de température.

On conçoit que, dans ces conditions, la mesure de la dilatation d'un mélange d'eau et d'alcool à une température déterminée puisse servir à apprécier sa teneur en alcool. L'appareil de Silbermann est établi d'après ce principe.

4° *Tension superficielle.* — En se renflant à l'extrémité inférieure d'une pipette, la goutte liquide s'entoure, par le jeu des forces capillaires, d'une sorte de membrane élastique qui se brise quand sa tension atteint un certain degré variable avec la nature du liquide, et la goutte tombe. Il y a d'autant plus de gouttes dans un volume déterminé que la tension est moindre.

La tension de l'alcool est inférieure à celle de l'eau, d'où un moyen de mesure. Ainsi, avec le compte-gouttes de M. Duclaux, 5 centimètres cubes d'eau donnent 100 gouttes, tandis que l'eau avec un dixième de son volume d'alcool (10 °/₀) donne 144 gouttes à la température de 15°.

5° *Point d'ébullition.* — L'eau bout à 100° sous la pression de 760 millimètres, tandis que l'alcool bout à 78°,3. Les ébullioscopes et les ébulliomètres sont construits sur ce principe.

6° *Densité.* — La densité de l'eau à + 15° est égale à 0,99916, tandis que celle de l'alcool n'est que de 0,79433 à la même température. Les densimètres, dont l'alcoomètre centésimal de Gay-Lussac est le type, sont établis d'après ce principe.

Propriétés chimiques

Dans cette catégorie nous trouvons les méthodes suivantes :

1° Transformation de l'iode en iodoforme ;

2° Oxydation de l'alcool par le bichromate de potasse en excès, en présence de l'acide sulfurique. Il se forme de l'acide acétique, du sulfate de potasse et du sulfate de chrome. On détermine ensuite le bichromate non réduit par une solution titrée de sulfate double de fer et d'ammoniaque. On a ainsi tous les éléments pour calculer l'alcool contenu dans le liquide examiné ;

3° Transformation de l'alcool en acide acétique par le brome en excès à 80°. On chasse le brome en excès par l'ébullition et on titre l'acide bromhydrique produit :

$$C^2H^5OH + 2\,Br^2 + H^2O = C^2H^4O^2 + 4\,HBr.$$

Eh bien, la plupart de ces méthodes — et j'en passe — sont restées confinées dans les laboratoires ; elles peuvent être employées dans certains cas spéciaux, mais elles ne nous intéressent pas dans le cas qui nous occupe.

Deux appareils seulement sont passés dans la pratique courante et sont employés journellement. Ces deux instruments sont l'ébullioscope et l'alcoomètre.

Examinons d'abord les ébullioscopes dont le Malligand est le type. Il est entendu que nous envisagerons d'abord le cas d'un mélange d'eau et d'alcool et que nous examinerons ensuite dans quelles conditions ces instruments peuvent s'appliquer aux liquides complexes comme le vin.

Ébullioscopes

Le principe de leur construction repose, comme je l'ai déjà dit, sur la différence du point d'ébullition de l'eau et de l'alcool :

L'eau bout à 100° et l'alcool à 78°,3 sous la pression de 760 millimètres, soit une différence de 21°,7.

Pourtant, l'alcool forme avec l'eau un mélange à point d'ébullition minimum. Un mélange contenant 4,43 °/₀ d'eau bout un peu au-dessous du point d'ébullition de l'alcool pur.

On peut donc ainsi mesurer la richesse des mélanges d'eau et d'alcool depuis 0 jusqu'à 100, mais, en pratique, on n'a pas avantage à utiliser les ébullioscopes pour des liquides contenant plus de 20 °/₀ d'alcool.

C'est que, au fur et à mesure que la richesse alcoolique du liquide augmente, les degrés se resserrent sur l'échelle, parce que à une même différence dans le titre alcoolique correspondent des variations de plus en plus petites entre les points d'ébullition, plus de moitié

moindre de 15 à 20 que de 0 à 5, comme l'indique le tableau suivant :

RICHESSE pour cent en alcool	POINT d'ébullition	DIFFÉRENCES
—	—	—
0.	100,0	
		4,2
5.	95,8	
		3,1
10.	92,7	
		2,5
15.	90,2	
		2,0
20.	88,2	

Si on a des liquides contenant plus de 20 °/₀ d'alcool — ce qui est rare — il faut les dédoubler.

La température d'ébullition d'un liquide (eau + alcool) contenant 20 °/₀ d'alcool est de 88°,2, soit une différence de 11°,8. On conçoit donc qu'on puisse construire un thermomètre mesurant la température entre 88°,2 et 100 et que s'il est établi de manière à donner le vingtième de degré de température, nous aurons 236 divisions, ce qui serait plus que suffisant pour apprécier le dixième de degré alcoolique, puisqu'il nous faut seulement 200 divisions. Cela serait exact si la température d'ébullition du mélange croissait régulièrement avec la diminution du titre alcoolique, mais il n'en est rien, ainsi que nous venons de le voir, et il nous faut porter l'écartement moyen des divisions à 1mm,5 au lieu de 1 millimètre.

Il en résulte que pour avoir l'espace correspondant à un degré alcoolique divisé en un dixième avec un écartement d'au moins 1 millimètre entre les divisions les plus rapprochées pour en faire facilement la lecture, il faut augmenter la longueur de la tige entre les deux points extrêmes de température (88°,2 et 100°). Il nous faut donc un thermomètre susceptible d'apprécier le trentième de degré de température ; on aura ainsi 354 divisions = 11,8 × 30, au lieu des 300 (200 × 1,5) millimètres. La tige d'un pareil instrument aurait plus de 0m,30 de longueur et ne serait pas pratique. C'est pourquoi nous sommes obligés de nous contenter d'une approximation de deux dixièmes de degré dans les instruments actuels. Mais j'estime qu'il serait préférable de réduire encore la différence entre les deux points extrêmes, rester entre 0 et 15° alcooliques par exemple, tout en conservant la même amplitude dans les variations

de la colonne de mercure du thermomètre, de manière à pouvoir apprécier le dixième de degré.

Dès lors, on comprend que si on vient à tracer sur une feuille de papier une longeur égale à celle comprise entre le point 100° et le point 88°,2 de la tige de notre instrument, dont le calibre doit être parfaitement régulier, et qu'on la divise en degré, dixième de degré, etc., on peut, connaissant les points d'ébullition des mélanges d'eau et d'alcool, déterminés une fois pour toutes, avec un thermomètre de haute précision donnant le centième de degré, graver sur une règle de cuivre d'égale longueur des divisions qui représenteront des degrés, des deux dixièmes ou des un dixième de degré alcoolique. Il faut d'ailleurs, autant que possible, déterminer chaque degré avec des mélanges d'eau et d'alcool rigoureusement exacts.

Voilà donc notre ébullioscope établi, il est parfaitement exact pour des mélanges d'eau et d'alcool et si, quand nous voulons déterminer le titre alcoolique d'un vin, nous avions soin de faire une distillation préalable comme nous le faisons avant de plonger l'alcoomètre, on peut affirmer que nous obtiendrions des résultats aussi exacts.

Voyons maintenant ce qui se passe lorsque nous utilisons notre instrument pour le dosage de l'alcool directement dans les vins.

Le vin n'est pas un mélange d'eau et d'alcool pur, c'est un liquide alcoolique qui tient en dissolution des matières diverses qui modifient plus ou moins son point d'ébullition : les unes élèvent ce point d'ébullition, d'autres au contraire l'abaissent, de telle sorte que notre instrument nous donnera tantôt des indications trop faibles, tantôt trop fortes, suivant que les unes ou les autres prédomineront. Il pourra même arriver des cas où il y aura une compensation rigoureuse entre les matières qui retardent et celles qui abaissent le point d'ébullition et alors l'ébullioscope donnera des indications vraies. Mais, en principe, cet instrument, appliqué directement au vin, donne des indications qui sont forcément entachées d'erreur, et ce n'est que par hasard que nous pouvons compter sur un résultat exact.

Mais, dans la plupart des cas, avec les vins normaux, les écarts en plus ou en moins sont assez faibles (plus souvent au-dessus) et ne diffèrent guère de la réalité, de sorte que, même dans ces conditions, on peut considérer les indications fournies par les ébullios-

copes comme satisfaisantes pour les besoins du commerce, toutes les fois qu'on n'exige pas une précision rigoureuse.

Quand, au contraire, on se trouve en présence de vins à composition anormale, il faut rejeter l'emploi de cet instrument, car on s'expose à de graves mécomptes. Ainsi, la crème de tartre élève le point d'ébullition et abaisse par conséquent le degré alcoolique, aussi les vins riches en bitartrate de potasse accusent-ils un degré plus faible.

L'acide acétique, qui bout à 118°, élève le point d'ébullition et abaisse le titre alcoolique, aussi avec les vins altérés, piqués, obtient-on des résultats qui peuvent être très différents.

Les matières minérales élèvent aussi le point d'ébullition, c'est ainsi que les vins fortement plâtrés peuvent donner des résultats inexacts.

En général, les matières fixes qui constituent l'extrait sec des vins (cendres, tanin, glycérine, crème de tartre, etc.) élèvent le point d'ébullition, tandis que les matières très volatiles, comme les éthers et les aldéhydes, l'abaissent.

Cependant le sucre de raisin abaisse le point d'ébullition et élève le degré alcoolique, bien que le point d'ébullition d'une solution de sucre ordinaire saturée soit de 105°. Ce fait a été mis en lumière par Thénard qui le premier a minutieusement étudié le Malligand en 1875.

Voici les chiffres de Thénard :

	VIN PUR	1 volume vin 1 volume eau	1 volume vin 2 volumes eau	1 volume vin 3 volumes eau	DIFFÉRENCE
Malaga.	20,45	18,70	18,36	18,20	+ 2,25
Frontignan, muscat.	14,00	12,80	12,69	12,72	+ 1,51

Erdelyi a fait une expérience plus probante encore : il a pris un mélange d'eau et d'alcool auquel il a ajouté successivement des quantités croissantes de sucre. Voici quelques-uns de ses résultats :

	ÉBULLIOSCOPE	DISTILLATION
Mélange + 2 °/₀ de sucre.	9,10	9,06
Mélange + 5 °/₀ de sucre.	9,35	9,06

Il faut donc noter que, contrairement à l'opinion reçue, le sucre

élève le degré alcoolique et que les résultats fournis par les vins sucrés sont trop forts.

Je laisse de côté l'influence des autres substances qui composent l'extrait sec, influence mal déterminée et dont l'étude m'entraînerait beaucoup trop loin.

Saleron a cherché à éliminer cette influence et à se rapprocher davantage de la vérité en prenant pour base de la graduation de son ébulliomètre un liquide alcoolique avec une moyenne de richesse extractive. On a alors un instrument qui se rapproche peut-être davantage de la vérité, dans certains cas, mais dont la base conventionnelle doit le faire rejeter. Il vaut beaucoup mieux, à notre avis, conserver la graduation primitive qui est seule rationnelle et supprimer l'influence du facteur vin par une distillation préalable, avant de faire l'essai à l'ébullioscope, en procédant de la même manière que pour une détermination avec l'alcoomètre. Il n'y a pas de raison, dans ces conditions, pour ne pas obtenir un chiffre conforme au degré alcoolique réel du vin.

Alcoomètres

Le principe de la construction de cet instrument repose sur la différence de densité de l'eau et de l'alcool.

La densité de l'eau à + 15° est de 0,99916 et celle de l'alcool pur de 0,79433.

Mais quand on mélange de l'eau et de l'alcool, le volume total est moindre, il y a contraction. Cette contraction augmente, passe par un maximum qui a lieu quand le mélange contient 46 °/₀ d'alcool et correspond à la formule $C^2H^5OH3H^2O$, puis va en diminuant.

Le tableau suivant indique ces variations pour les mélanges compris entre 0 et 20°, qui seuls nous intéressent ici.

0.	0,99916	
		0,00639
5.	0,99277	
		0,00625
10.	0,98652	
		0,00552
15.	0,98100	
		0,00513
20.	0,97587	

Il en résulte que, comme pour l'ébullioscope, les divisions sur la

tige de l'instrument ne peuvent être équidistantes et vont en se rapprochant de plus en plus, de 0 à 20°.

Pour établir un alcoomètre qui se compose, comme on le sait, d'une tige de verre renfermant la graduation, d'un cylindre creux servant de flotteur et d'une ampoule contenant le mercure qui sert à lester l'appareil et à le maintenir vertical, on commence par déterminer deux points d'affleurement : le point 0 dans l'eau distillée à + 15° et le point 20 dans un mélange contenant 20 °/₀ d'alcool. En réalité, si on veut avoir des alcoomètres donnant le dixième de degré, il faut un instrument spécial pour chaque 10°. On plonge d'abord l'instrument dans un mélange d'eau et d'alcool contenant exactement 10 °/₀ d'alcool et on règle le lest de façon qu'il s'enfonce jusqu'au sommet de la tige ; en ce point on marque 10.

Cela fait, on divise la longueur comprise entre ces deux points en parties égales formant une échelle de densité (il faut pour cela une tige parfaitement calibrée). Dès lors, il est facile, connaissant la densité des mélanges d'eau et d'alcool qui ont été déterminés une fois pour toutes avec une grande précision par le bureau des poids et mesures, de porter sur une autre échelle de même longueur des divisions indiquant les degrés et dixièmes de degré alcoolique, en regard de la densité correspondante. Mais il est encore préférable de déterminer successivement chaque degré dans des mélanges d'eau et d'alcool. Il ne faudrait pas croire que ces diverses opérations sont faciles à exécuter et qu'elles ne demandent pas les plus grands soins pour obtenir un instrument exact.

L'alcoomètre centésimal a été inventé par Gay-Lussac en 1824 ; en 1884, il est devenu un instrument légal soumis au contrôle de l'État.

Lorsqu'il s'agit de boissons alcooliques, cet instrument ne peut donner des résultats exacts qu'autant qu'on leur fait subir une distillation préalable de manière à n'opérer que sur un mélange d'eau et d'alcool.

Vérification des instruments

1° **Ébullioscopes.** — Ils sont établis avec plus ou moins de soin et, dans le nombre, il y en a de défectueux. Tout d'abord, le tube capillaire doit avoir un calibre rigoureusement uniforme ; en second

lieu, les points extrêmes de l'échelle doivent être exactement déterminés pour chaque appareil ; enfin la correspondance entre les degrés de température et les degrés alcooliques doit être déterminée avec précision. Ces conditions sont-elles toujours remplies ? Il est permis d'en douter, si on raisonne par analogie et si on considère que parmi les thermomètres médicaux essayés l'année dernière au bureau des essais du Conservatoire des arts et métiers, 12,5 °/₀ seulement ont été trouvés exacts.

Ces instruments devraient donc être contrôlés par l'État de la même manière que les alcoomètres ; ce contrôle, d'ailleurs, ne les dispenserait pas de la vérification, comme nous le verrons à propos de ces derniers.

Quand on achète un instrument, il faut donc le vérifier, ce qui se fait avec des mélanges d'eau et d'alcool dont le titre est rigoureusement connu. On peut encore s'assurer si les indications données par l'ébullioscope concordent avec celles fournies par un alcoomètre contrôlé et vérifié ou encore un autre instrument vérifié.

Il faut, en un mot, un liquide alcoolique de composition rigoureusement déterminée ou un instrument étalon (alcoomètre ou ébullioscope).

On peut aussi contrôler un ébullioscope, dire s'il donne des indications vraies ou fausses et, dans ce dernier cas, indiquer la correction moyenne à faire, mais on ne peut pas le régler. Et, à ce sujet, il importe de mettre en garde les viticulteurs et les négociants contre ce qu'on appelle le « *réglage de ces instruments* ». Cette opération pratiquée, paraît-il, par certains industriels est un véritable trompe-l'œil. Si la graduation est fausse, on ne peut pas la modifier sans en faire une nouvelle.

Mais si au lieu d'opérer sur le produit de la distillation on opère sur le vin directement, il n'y a pas de contrôle possible au sens rigoureux du mot, parce qu'il ne peut pas y avoir d'ébullioscope étalon. On peut seulement s'assurer si l'appareil s'accorde avec un instrument contrôlé et s'il donne des résultats uniformes avec une approximation suffisante en rapport avec la vérité. Cette comparaison n'a que l'apparence d'une vérification, étant donné qu'on ne sait pas si l'étalon donne, dans ces conditions, des résultats exacts.

Nous verrons tout à l'heure, en étudiant les alcoomètres, comment on peut préparer des mélanges d'eau et d'alcool pour faire un contrôle vrai.

Alcoomètres. — Au cours de cette étude, j'ai plusieurs fois insisté sur la nécessité de contrôler les instruments. C'est une opération très délicate et qui n'est pas à la portée de tout le monde. Je dois cependant en dire un mot pour que les lecteurs sachent au moins comment on l'exécute et qu'ils ne la confondent pas avec la vérification des bascules ou des double-décalitre [1]. L'alcoomètre contrôlé par l'État, aux termes de la loi du 27 décembre 1884, porte, gravé sur sa carène, le nom du constructeur ou sa marque, un numéro d'ordre, le poids de l'instrument en milligrammes, deux mains enlacées, le mois désigné par une des premières lettres de l'alphabet et l'année déterminée par les deux derniers chiffres du millésime. Le décret du 15 janvier 1904 ajoute deux repères permettant de constater au besoin le glissement accidentel ou frauduleux de l'échelle.

En l'absence de conventions contraires entre les parties, c'est cet instrument légal qui doit toujours être employé pour trancher les différends.

En général, le bureau des essais refuse les instruments qui diffèrent de plus de 0,05 avec l'étalon officiel. Mais il y a des circonstances qui échappent et qui font que les alcoomètres poinçonnés, estampillés par l'État, qu'on trouve dans le commerce, ne s'accordent pas toujours. Nous en avons eu à examiner qui différaient de 0,3. Il faut donc, comme pour les ébullioscopes, s'assurer de leur exactitude, contrôler le contrôle. Cela posé, voyons comment on peut faire cette opération.

Il faut d'abord se procurer de l'alcool absolu et de l'eau distillée. Ensuite on prend un ballon jaugé de 500 centimètres cubes et une pipette jaugée de 50 centimètres cubes. On mesure successivement et exactement neuf pipettes d'eau distillée à 15° et une pipette d'alcool absolu à la même température. Le point d'affleurement est situé au-

1. On trouve, dans le Bulletin d'une société agricole le vœu suivant : « Que les instruments servant à la détermination du degré alcoolique soient contrôlés par le vérificateur des poids et mesures. »



dessous du trait de jauge à cause de la contraction. On a ainsi un liquide à 10 °/₀ d'alcool en volume. Cela fait, comme l'alcool absolu n'est pas lui-même chimiquement pur, on prend le titre exact de la solution par une méthode chimique ou simplement par la densité. C'est ce dernier procédé que nous allons employer. On prend donc un petit flacon à densité, on le pèse vide et sec ; on le pèse ensuite plein d'eau distillée à + 15° ; enfin on le pèse plein de notre mélange toujours à la même température.

Toutes ces pesées doivent se faire avec une balance sensible au milligramme. On a ainsi tous les éléments pour calculer exactement la densité du mélange et pour chercher dans la table sa richesse réelle en alcool. Voici un exemple :

Alcool absolu	50 cent. cubes.	10 °/₀ d'alcool.
Eau distillée	450 —	

$$\text{Densité } \frac{Pa}{Pe} = 0,98639 = 9,9 \text{ °/₀ d'alcool.}$$

Notre mélange contient donc exactement 9,9 °/₀ d'alcool en volume, à + 15°, et nous pouvons alors essayer nos instruments. Voici, à titre d'exemple, un de ces essais :

Malligand (grand modèle).	9,8 °/₀
Alcoomètre en 1/10°.	10,2
Alcoomètre en 1/5°	9,8

Il ressort de ces chiffres qu'aucun de ces instruments ne donne des indications rigoureusement exactes. Mais il est bon d'ajouter que ces essais doivent être répétés plusieurs fois et avec des liquides de différente force avant de se prononcer sur la valeur d'un instrument.

On voit comme toutes ces opérations sont longues, délicates, et on peut dire qu'un instrument parfait n'a pas de prix.

Pratique des opérations

Nous arrivons à la dernière partie de cette étude, c'est-à-dire à la détermination du degré alcoolique du vin.

Pour plus de clarté, nous indiquerons d'abord comment il faut

procéder à la distillation, opération qui doit précéder l'emploi de l'ébullioscope ou de l'alcoomètre.

On commence par mesurer un certain volume de vin à 15°, au moins 250 centimètres cubes. Cette précaution est nécessaire parce que la graduation de l'alcoomètre est faite à + 15° et que les résultats sont rapportés à cette température.

Ainsi, un litre d'alcool à 0° devient 1^l, 032 à 30° et 1 litre de vin à 15° devient 1^l,008 à 30°, de sorte qu'avec 250 centimètres cubes de vin mesuré à 30° nous perdons l'alcool contenu dans 2 centimètres cubes de vin, soit 0,096 ou près de 1 dixième de degré avec du vin à 10°. Ce serait le contraire si on mesurait le vin vers zéro.

Le vin ainsi mesuré est introduit dans un ballon de 500 centimètres cubes, puis on le sature exactement avec de l'eau de chaux ou de la potasse et on distille. On recueille le liquide distillé dans le même matras jaugé qui a servi à mesurer le vin ; on arrête quand on a obtenu environ 200 centimètres cubes. Ensuite, on complète presque le volume avec de l'eau distillée et on abandonne le tout dans une pièce à 15°. Quand le liquide a pris la température de la pièce, on complète exactement le volume à 250 centimètres cubes et on secoue énergiquement pour bien mélanger et avoir un liquide homogène.

C'est une complication qui peut être évitée toutes les fois qu'il ne s'agit que d'une détermination à l'ébullioscope. Dans ce cas, il suffit que le vin et le liquide distillé soient mesurés à la même température.

Alcoomètre. — On verse le liquide distillé et mesuré dans une éprouvette et on y plonge l'alcoomètre divisé en dixièmes de degré. A ce moment, on prend exactement la température avec un thermomètre contrôlé, et, si elle est supérieure ou inférieure à 15°, on en tient compte à l'aide de la table de correction, en interpolant au besoin. Le rayon visuel doit passer par le ménisque inférieur ; on lit le chiffre placé dans sa direction et on cherche dans la table dressée par le bureau des poids et mesures, et rendue légale en France par le décret du 27 décembre 1884, le chiffre correspondant à + 15°.

Autant que possible, il ne faut pas toucher l'instrument avec les

doigts, on le prend avec du papier à filtre. La tige de l'instrument doit être toujours parfaitement propre ; on arrive à le maintenir dans cet état en le frottant doucement après chaque opération avec un papier imprégné d'une dissolution de soude d'abord, puis à l'alcool.

Comme on le voit, il est bien plus difficile de faire une bonne lecture avec l'alcoomètre que de noter un degré au Malligand, et le coefficient de l'opérateur est loin d'être négligeable.

Et puis si, avec l'ébullioscope, l'acheteur ne voit pas du même œil que le vendeur l'extrémité de la colonne de mercure, ici les erreurs sont encore plus faciles ; le premier a des tendances à ne voir que ce qui est au-dessous du rayon visuel, tandis que l'autre regarde plutôt au-dessus.

Malligand. — Avec le petit modèle, divisé en demi-degré, il est très difficile, pour ne pas dire impossible, d'apprécier plus du quart de degré. Aussi peut-on s'étonner à bon droit de voir les négociants et les viticulteurs déterminer avec cet instrument les dixièmes de degré et pousser même jusqu'aux *dixièmes forts* ou aux *dixièmes faibles*.

Le grand modèle seul, divisé en deux dixièmes de degré, permet de faire la lecture au dixième de degré, pour les vins dont la richesse est inférieure à 16°. On peut même aller plus loin et, quand la colonne de mercure dépasse un trait, sans atteindre la demi-distance comprise entre deux traits, on peut exprimer les résultats par des dixièmes augmentés d'un demi-dixième, mais il est évident que dans ces conditions l'appréciation est approximative, parce qu'on ne peut pas bien partager une distance comprise entre deux points dont l'un seulement est marqué sur la réglette. C'est pour cela qu'il me semble raisonnable de s'en tenir pour l'évaluation des prix, dans les transactions, à la première décimale.

Abordons maintenant l'opération elle-même. On commence par faire le point d'eau.

On remplit l'appareil d'eau jusqu'à la bague intérieure (avec de l'eau distillée on peut aller jusqu'à la bague supérieure), on place la cheminée et on chauffe. Ce point doit être déterminé avec précision,

car c'est de lui que dépend l'exactitude des déterminations qui seront faites avec le liquide alcoolique. Ensuite on vide l'appareil, on rince le réservoir avec le liquide distillé et ramené au volume primitif et on y plonge le réservoir du thermomètre avant de le vider. On vide à nouveau et on secoue énergiquement pour faire tomber tout le liquide.

Enfin, on verse une seconde fois jusqu'à la bague supérieure le liquide dont il s'agit de mesurer le degré alcoolique, on place le réfrigérant et on chauffe à l'ébullition jusqu'à ce que la colonne de mercure reste stationnaire. On se sert d'une carte de visite à bords bien droits pour faire la lecture.

Avec le petit modèle, la colonne mercurielle ne reste pas longtemps fixe ; dès qu'elle a atteint son point culminant, il faut se hâter de faire la lecture, car le réfrigérant s'échauffe et la température monte. La lecture avec le grand modèle est bien plus facile ; la colonne reste fixe pendant deux ou trois minutes et on a tout le temps de vérifier le chiffre lu.

On a soin de placer à côté de soi un baromètre et, si l'aiguille ne bouge pas, il est inutile de refaire le point d'eau. Il y a des jours où la pression barométrique varie constamment et où il est difficile de faire des déterminations exactes. Quand on a fini, on lave d'abord à l'eau froide, puis on fait bouillir de l'eau distillée pour bien nettoyer la cuvette. Le pourcentage s'exprime en volume, de même qu'avec l'alcoomètre, mais il est facile de transformer les volumes en poids en prenant la densité du vin.

On a alors la formule suivante :

$$P\,^0\!/_0 = \frac{V\,^0\!/_0 \times 0{,}79433}{p}.$$

En terminant je crois utile de donner quelques résultats pour faire ressortir les différentes causes d'erreur qui peuvent se présenter.

1° *Nature du vin* quand on opère directement sans distillation préalable :

	VINS AVARIÉS		
	A	B	C
Malligand (directement).	12,15	12,1	12,25
— **(après distillation)**. . . .	11,9	11,9	12,1

2° *Les ébullioscopes ne sont pas contrôlés* et le défaut de concordance entre les résultats de deux opérateurs peut provenir des instruments. En voici quelques exemples :

	VINS	INSTRUMENTS P	INSTRUMENTS S	DIFFÉRENCE
Directement sur le vin.	Nos 1.	11,5	11,5	0,0
	2.	10,4	10,0	— 0,4
	3.	11,0	10,8	— 0,2
	4.	10,5	10,3	— 0,2
	5.	12,1	10,2	+ 0,1

Mais on peut ainsi constater de ces différences avec les alcoomètres comme l'indiquent les chiffres suivants :

	NUMÉROS DES VINS D	NUMÉROS DES VINS E	NUMÉROS DES VINS F
Alcoomètre au 1/10°	10,25	10,55	11,28
— au 1/5°	9,95	10,25	11,00

Quand on opère directement sur le vin, les ébullioscopes donnent généralement des résultats plus forts, mais ce n'est pas constant. Dans tous les cas, quand on se trouve en présence de semblables divergences, il n'y a qu'un moyen d'en sortir, c'est d'accepter d'un commun accord les décisions d'un arbitre en qui on a toute confiance.

Voici une autre série d'essais faits avec trois ébullioscopes :

	VINS	INSTRUMENTS S	INSTRUMENTS A	INSTRUMENTS L
Directement sur le vin.	Nos 1.	10,85	10,85	10,80
	2.	11,7	11,75	11,7
	3.	12,05	12,10	12,0
	4.	12,10	12,15	12,1
	5.	11,90	12,10	11,9
	6.	11,80	11,90	11,75

S et L s'accordent sensiblement tandis que A donne des indications plus élevées.

3° *Erreurs provenant de l'opérateur*. Ces déterminations ne sont pas toujours faites avec le soin voulu et la précision de l'instrument

ne doit pas toujours être mise en cause. Le coefficient de l'opérateur intervient aussi souvent pour modifier les résultats. Voici quelques chiffres à ce sujet.

	VINS	OPÉRATEURS S	OPÉRATEURS B	DIFFÉRENCE
	—	—	—	—
Directement sur le vin (avec 2 Malligand petit modèle).	Nos 1.	10,5	10,6	0,1
	2.	13,7	13,85	0,15
	3.	11,1	11,35	0,25
	3.	12,1	12,35	0,25

Résumons-nous en disant que, quand on possède des instruments exacts et qu'on procède à une distillation préalable, on doit, si l'on opère bien, trouver des résultats concordants avec l'ébullioscope et l'alcoomètre.

	NATURE DES VINS P	NATURE DES VINS M	NATURE DES VINS N
	—	—	—
Malligand (grand modèle)	10,25	10,4	11
Alcoomètre au 1/5°	10,25	10,45	11

J'ai, à dessein, dans cette étude, donné d'assez grands développements à la partie scientifique, parce que j'estime qu'on ne peut bien comprendre le fonctionnement d'un instrument et apprécier les indications qu'il donne qu'autant qu'on connaît bien les principes scientifiques qui servent de base à sa construction.

LA VILLE DE PARIS ET L'EAU

LETTRES AU DIRECTEUR DU « TEMPS »

(DÉCEMBRE 1904 A MAI 1905)

I. — EAU POTABLE ; EAUX D'ÉGOUTS

La préfecture de la Seine informe, de temps en temps, la population parisienne que l'eau de l'une ou de plusieurs des sources qui l'alimentent étant contaminée et pouvant contenir des microbes pathogènes, il est prudent de prendre les précautions nécessaires pour ne pas s'empoisonner en la buvant. Aujourd'hui [1], comme c'est le cas le plus fréquent, c'est le bacille typhique d'Eberth qui rend suspectes les eaux de la Dhuis et de l'Avre, ainsi que nous en prévient l'avis que les lecteurs du *Temps* ont pu lire dans la note du 12 décembre 1904 ainsi conçue :

« Des cas de fièvre typhoïde s'étant produits dans les régions des sources de la Dhuis et de l'Avre, l'administration municipale prévient la population qu'il est prudent de faire bouillir l'eau destinée à la boisson. »

Il en sera de même tant qu'on n'aura pas pris les mesures nécessaires pour éliminer ou détruire radicalement dans les eaux d'ali-

1. Décembre 1904.

mentation, ***avant leur admission*** dans les conduites d'adduction, les microbes pathogènes qui les souillent. Ces microbes ont diverses origines : déjections humaines ou animales, infiltrations de purin, voire même abandon de cadavres d'animaux et autres matières putrescibles, ***en amont*** des installations de captation des eaux : ruisseaux, sources ou rivières qui alimentent Paris.

Le système d'épuration aujourd'hui en usage, imparfait déjà lorsqu'il s'agit d'eaux relativement pures : Dhuis, Avre, Vanne, Loing et Lunain, est bien plus inefficace encore pour la purification des eaux puisées en Seine et en Marne, pour compléter le volume énorme d'eau (260 litres environ par tête et par jour) qui correspond à la consommation parisienne.

Est-il possible, en l'état actuel des progrès réalisés dans le traitement des eaux, de remédier à la situation que révèlent, de temps à autre, les communiqués de l'administration, sur la contamination de l'eau potable? On peut sans hésiter répondre affirmativement. L'étude récente que j'ai faite, sur place, des procédés nouveaux employés en Angleterre pour la purification complète des eaux de sources et de rivières destinées à l'alimentation publique, m'a convaincu qu'on ne saurait avoir de doute à ce sujet.

A la question, capitale pour la santé publique, de la pureté des eaux de boisson, se rattache, par des liens étroits, celle de l'épuration des eaux d'égout. Les deux raisons principales de cette connexité sont les suivantes : Premièrement, dans les systèmes d'épuration des eaux résiduaires par leur épandage sur le sol, par suite des imperfections graves de son application à Paris, imperfections sur lesquelles j'insisterai plus loin, l'eau qui arrive dans la nappe souterraine n'est pas, sur beaucoup de points, débarrassée des agents nocifs, matières organiques, microbes pathogènes, etc., qui souillent les eaux d'égout ; elle va, par infiltration, contaminer l'eau des puits, sources et rivières qui la reçoivent. En second lieu, le déversement direct dans la Seine du volume d'eau d'égout que les champs d'épuration se refusent à avaler, leurs dimensions étant tout à fait insuffisantes, contamine directement l'eau du fleuve. En 1904, d'après les renseignements officiels, M. Vincey, en comparant les volumes d'eaux consommés par jour, de janvier à septembre 1904, au volume d'eaux

d'égout déversé sur les champs d'épuration, a dressé le tableau ci-dessous.

1904 — MOIS	CONSOMMATION générale d'eau	DÉVERSEMENT D'ÉGOUT dans les champs d'épandage		dans la Seine	
	Mètres cubes	Mètres cubes	°/₀	Mètres cubes	°/₀
Janvier	605 113	606 200	100	»	»
Février	614 956	510 710	83	104 246	17
Mars	641 774	422 780	66	218 994	34
Avril	659 586	426 499	65	233 087	35
Mai	682 299	578 211	85	104 088	15
Juin.	716 866	528 879	74	187 987	26
Juillet	813 109	724 219	89	89 890	11
Août	739 052	744 472	100	»	»
Septembre	682 237	699 887	100	»	»
Moyennes.	683 888	582 428	85	101 460	15

Il résulte de ces chiffres que la Seine a reçu directement par jour, en moyenne, 101 460 mètres cubes, correspondant à 15 °/₀ du volume total des eaux résiduaires. Le déversement direct en Seine a atteint son maximum en avril, 35 °/₀ du volume total, et son minimum en juillet, 11 °/₀. C'est donc environ un sixième du volume total des eaux d'égout que la Seine aurait reçu journellement de janvier à septembre 1904[1]. On voit, par là, combien est dangereuse, pour la santé publique, la nécessité où l'administration se trouve trop souvent, dans les périodes de sécheresse, de remplacer plus ou moins complètement l'eau de source par l'eau de Seine, dans la distribution de l'eau aux habitants.

Il y a vingt-huit ans, au mois de septembre 1876, la commission de l'assainissement de la Seine adressait son rapport au préfet, à la suite de ses intéressants travaux et des enquêtes qui les avaient

1. Mais j'ai tout lieu de croire, d'après les renseignements qui m'ont été donnés par des personnes bien renseignées, que le maximum indiqué pour avril 1904 est presque constamment dépassé. Comme le service des eaux s'obstine à ne pas faire connaître les chiffres réels du déversement direct des eaux d'égout dans la Seine, on en est réduit à des hypothèses.

suivi. Quelques-unes des conclusions de ce rapport méritent d'être rappelées.

En ce qui concerne le déversement des eaux d'égout dans la Seine, la commission conclut, par l'organe de son éminent rapporteur M. Th. Schlœsing :

1° L'infection de la Seine par les eaux d'égout de Paris est un fait absolument incontestable. La commission, réitérant un avis déjà énoncé par le conseil général des ponts et chaussées et par le conseil d'hygiène et de salubrité de la Seine, déclare que cette infection doit cesser *dans le plus bref délai ;*

2° Il est indispensable que les eaux d'égout soient dépouillées, avant d'être admises dans la Seine, des matières organiques solubles et insolubles qui sont la cause de l'infection.

En ce qui concerne le mode d'épuration :

L'épuration par le sol est soumise à des conditions d'exécution nécessaires :

a) Une porosité convenable du sol, afin que l'eau ne soit point arrêtée dans sa marche descendante et que l'air pénètre dans la mesure voulue pour la combustion qu'il doit opérer ;

b) Une régularité dans la succession des arrosages et la *quantité d'eau* consommée par chacun d'eux, qui soit telle que l'eau emploie à traverser l'épaisseur du sol filtrant tout le temps nécessaire pour l'épuration ;

c) Un drainage suffisant pour évacuer la totalité des eaux épurées : les irrigations à l'eau des égouts ne sont point insalubres, alors même qu'elles sont faites à de fortes doses, si les *conditions d'une bonne épuration sont observées.*

Voilà donc près de trente ans que la commission compétente signalait *l'urgence* de l'assainissement de la Seine et traçait les règles de l'épuration des eaux d'égout qui, d'après les propres expressions du président de cette commission, H. Bouley, de l'Institut, ne devaient être restituées au fleuve « qu'après avoir été dépouillées de leurs impuretés d'une manière complète, c'est-à-dire *essentiellement* et non pas seulement en leur donnant, par un simple filtrage, une pureté qui n'est qu'apparente ».

Que constatons-nous aujourd'hui, après plus d'un quart de siècle

qu'il a fallu à l'administration pour ne pas aboutir à la solution *urgente* signalée par la commission de 1876? La réponse est aussi peu satisfaisante que facile à donner. La Seine reçoit encore directement, comme je viens de le dire, une énorme quantité d'eaux souillées et toxiques qui vont empoisonner le fleuve fort loin en aval de la capitale.

Le tableau suivant, que j'emprunte au travail de M. Paul Vincey [1], indique les cubes journaliers moyens d'eau d'égout déversée durant les huit premiers mois de l'année 1904 dans les grandes divisions régionales du champ d'épandage et la superficie générale soumise chaque jour à l'irrigation effective.

1904 — MOIS	RÉGIONS D'ÉPANDAGE					HECTARES irrigués	IRRIGATION normale
	Gennevilliers	Achères	Méry-Pierrelaye	Carrières Triel	Totaux		
Janvier	122 611	162 039	209 635	111 915	606 200	688	881
Février	76 344	121 824	210 557	101 976	510 701	593	861
Mars	53 794	101 490	167 901	99 592	422 780	543	778
Avril	86 822	95 137	156 769	87 771	426 499	506	843
Mai	136 962	142 117	186 952	112 180	578 211	545	1 061
Juin	101 770	138 829	179 811	108 469	528 879	574	921
Juillet	177 682	181 342	254 649	128 546	724 219	616	1 205
Août	179 453	195 271	242 280	127 463	744 472	625	1 191
Moyennes	116 930	142 256	201 070	109 739	567 745	586	970
Hectares irrigués	31	85	354	116	»	586	»
Irrigation normale	3 772	1 673	568	946	»	»	970

Dans la région de Gennevilliers, on le voit, les déversements d'eau d'égout atteignent des volumes absolument fantastiques : 117 000 mètres cubes par jour, répartis sur 31 hectares, ce qui correspond à un volume d'eau de 3 774 mètres cubes par hectare, soit 38 centimètres de hauteur d'eau par « mouille ». Bien que la loi de 1896

1. « Aménagement cultural appliqué à l'épuration terrienne des eaux d'égout de la ville de Paris » (*Mémoires de la Société nationale d'agriculture*, t. CXLI, 1904).

limite à 40 000 mètres cubes, par hectare et par an, le volume d'eau d'égout à déverser sur les champs d'épuration, volume, soit dit en passant, près de trois fois supérieur à celui qu'une longue pratique a fait adopter en Angleterre, comme nous le verrons plus loin, cette quantité est partout dépassée et atteint 43 000 à 45 000 mètres cubes.

Pourrait-on s'étonner, après cela, de la transformation en marécages de certaines parties des champs dits d'épuration, des plaintes nombreuses et fréquemment renouvelées, fondées sur les infiltrations putrides des puits? C'est le contraire qui serait surprenant. La dépression du lieu dit le Bois-du-Pont, sur la dérivation des Courlins, a été *délibérément* aménagée, par le service des eaux, en une mare de plusieurs hectares d'étendue et de plus d'un mètre de profondeur. Dans la partie haute du domaine de Méry-Pierrelaye, d'anciennes dépressions de carrières ont été *régulièrement* converties, par le service des eaux, en mares profondes et permanentes. « Au point de vue de l'assainissement, dit P. Vincey, au travail duquel j'emprunte ces renseignements — et j'ajouterai de la santé publique — ces enfouissements d'eau sont d'autant plus condamnables que, dans une région plus étendue qu'on ne le croit généralement, ils contribuent au relèvement des nappes superficielles et profondes dans lesquelles *toute une population* puise son eau d'alimentation. »

Pour compléter le tableau, il faut ajouter l'incommodité, pour ne pas dire plus, des émanations putrides qui se dégagent fréquemment des champs d'irrigation sursaturés par les impuretés des eaux d'égout, lorsque celles-ci, ne pénétrant pas rapidement et d'une façon régulière dans le sol, demeurent stagnantes à sa surface.

La commission scientifique municipale d'étude et de surveillance des eaux s'est réunie, le 14 décembre 1904, sous la présidence de M. de Selves, pour entendre l'exposé de la situation créée par les dernières pluies dans les régions de l'Avre et de la Dhuis. Des cas de fièvre typhoïde ayant été observés dans ces régions, la commission a donné son approbation aux mesures de prudence qui ont été prises (mise en décharge des eaux suspectes).

La commission a été frappée, à cette occasion, des difficultés qui résultent en pareil cas, pour la distribution d'eau, de l'insuffisance manifeste de notre approvisionnement en eau potable, et elle a re-

nouvelé de manière plus pressante un vœu déjà émis par elle, en vue d'une prompte augmentation des ressources, en commençant par une extension rapide des bassins filtrants.

Elle a aussi approuvé le programme d'un concours pour la recherche d'un procédé pratique d'épuration des eaux d'alimentation dont il sera question plus loin.

II. — COMMENT LA POPULATION PARISIENNE EST ALIMENTÉE EN EAU POTABLE

Quelle est, au point de vue de l'origine, du volume et de la qualité de l'eau, la situation de l'alimentation de Paris? Telles sont les questions qui se posent tout d'abord, lorsqu'on se propose d'étudier les améliorations indispensables pour la santé publique, que réclame le régime des eaux de la capitale.

La provenance des eaux qui alimentent Paris est double. Elle comprend, d'un côté, les eaux improprement dénommées *eaux de source* (dérivations de la Vanne, de la Dhuis, de l'Avre, du Loing et du Lunain); de l'autre, l'eau de rivière (Seine, Marne et Ourcq). Il importe beaucoup de préciser ce qu'il convient d'entendre par l'appellation *eau de source :* appliquée à Paris, cette désignation n'est pas exacte, dans le sens propre qui s'y attache d'ordinaire. L'eau de source, rigoureusement parlant, est celle qui, sortant des couches plus ou moins profondes de la terre, est captée à son point d'émergence, avant d'avoir subi, par sa circulation à la surface du sol, aucune contamination. Dans ce cas, l'eau est presque toujours d'une très grande pureté, le sol que l'eau des pluies a traversé étant un filtre parfait : elle ne renferme pas de matières organiques d'origine animale ; elle ne contient aucun des microbes pathogènes si redoutables au point de vue de la propagation des maladies infectieuses. Captées immédiatement, c'est-à-dire à leur sortie de terre, ces eaux n'exigent aucune purification, sauf quelques rares exceptions (eaux ferrugineuses, par exemple), avant d'être employées en boisson.

Il en est tout autrement des eaux de dérivation de ruisseaux et de cours d'eau d'importance variable (Vanne, Avre, etc.). Ces eaux

proviennent bien de la réunion de sources plus ou moins nombreuses et abondantes, mais, avant d'être captées et envoyées par des canalisations étanches dans les réservoirs d'où elles seront distribuées dans les habitations, elles ont pu subir et subissent, en réalité, fréquemment, en amont du captage, des pollutions diverses, dont les principales sont : filtrations superficielles, le long du bord des cours d'eau, de purin provenant de la fumure des terres ou des dépôts de fumier; déjections animales; corps d'animaux crevés, etc. Tous les hygiénistes sont d'accord pour proclamer la nécessité *impérieuse* d'épurer complètement ces eaux avant de les livrer à la consommation. Nous verrons plus loin quels sont, dans l'état actuel de la science, les meilleurs procédés d'élimination des matières nocives et, particulièrement, des bacilles infectieux. Pour l'instant, bornons-nous à indiquer la situation, au point de vue bactériologique, des eaux de sources qui alimentent Paris et l'insuffisance *radicale* des mesures prises jusqu'ici pour s'opposer à leur contamination en amont des captages.

Les examens bactériologiques faits à l'observatoire de Montsouris par MM. Miquel et Lévy, du 14 au 20 novembre 1904, ont révélé dans les eaux de la vallée de la Vanne et de l'Yonne la présence du bacille *coli, — assez fréquente, fréquente* ou *très fréquente* — dans toutes les sources, sauf une. Il en est de même du groupe des sources de l'Avre : seules les eaux du Loing et du Lunain en étaient exemptes. Ces constatations ont motivé la dernière recommandation de la préfecture, à l'annonce de quelques cas de fièvre typhoïde, de faire bouillir l'eau avant de s'en servir comme boisson et comme usage domestique. La présence du bacille *coli communis* est la preuve évidente de la contamination fréquente des eaux par des matières fécales. Il suffit donc que les habitants de quelques villages, situés en amont du captage des eaux, soient atteints de fièvre typhoïde pour que leurs déjections, déversées dans les sources, introduisent, avec le bacille *coli,* le microbe typhique d'Eberth, bien autrement dangereux.

Quelles mesures de protection a-t-on prises pour mettre les eaux amenées à Paris à l'abri de la contamination? Des mesures absolument insuffisantes, consistant à faire surveiller les abords des sources et à en éloigner les dépôts de fumier, les purins et les fosses, etc. !

Cette surveillance, pour la Vanne, doit s'étendre à plus de 1.600 ki-

lomètres carrés (160 000 hectares !); pour l'Avre, plus de 1 300 kilomètres; pour la Dhuis, 1 million; pour le Loing et le Lunain, plus de 1 500 kilomètres. Ces chiffres énormes, ajoute M. A. Rendu [1], auquel je les emprunte, sont encore fort au-dessous de la réalité, car on ne connaît pas le périmètre actuel d'alimentation des sources. On a créé un service médical et organisé une surveillance *permanente* et locale des régions voisines des sources. Mais je partage l'avis du Dr Courmont, qui a fait une étude approfondie de la question, lorsqu'il proclame une utopie la surveillance des grandes sources; elle ne peut, dit-il, avec raison, donner que des résultats incomplets, donc d'efficacité nulle. La solution vraie, en même temps qu'unique, de l'avis de tous les hygiénistes, est l'épuration de l'eau *avant* son entrée dans les canalisations, c'est-à-dire en amont des captages des dérivations de la Vanne, de la Dhuis, de l'Avre, du Lunain et du Loing. J'examinerai, au cours de cette étude, les procédés dont l'efficacité est aujourd'hui reconnue certaine, par une pratique déjà longue de leur application.

On voit que, si l'on en excepte les eaux du Loing et du Lunain (et peut-être l'eau filtrée d'Ivry?), la présence de bacilles *coli*, constatée dans les eaux de dérivation, rendait celles-ci suspectes.

Viennent ensuite les eaux de provenance de la Seine et de la Marne appelées à compléter l'alimentation en eau potable, l'eau de l'Ourcq étant réservée au service public de la ville de Paris et n'entrant pas en ligne de compte dans l'approvisionnement en eau potable des habitants.

L'eau prise en Seine à Ivry est filtrée sur gravier et sable par le système Puech. L'eau de la Marne est épurée par des dispositions analogues, à l'usine de Saint-Maur.

Examinons, avant d'aller plus loin, la part que prennent les eaux de ces diverses origines à l'alimentation de Paris.

En 1903, la moyenne des volumes d'eau, dite potable, distribuée par jour à Paris, a été de 243 310 mètres cubes, correspondant à 91^{l},4 par habitant, le dernier recensement ayant fixé le chiffre de la population à 2 660 000 âmes.

1. Rapport au conseil municipal (décembre 1904).

Ce volume d'eau se répartit comme suit, entre les diverses origines :

Vanne.	106 400	mètres cubes.
Avre	69 300	—
Loing et Lunain.	33 400	—
Dhuis.	16 900	—
Sources du nord	1 810	—
Eau de Seine filtrée	15 500	—
Total.	243 310	mètres cubes.

Un volume d'eau de près de 100 litres par tête suffirait très largement aux usages domestiques, si la majeure partie de cette eau n'échappait pas à la consommation directe, par suite de l'installation du tout-à-l'égout dans la moitié des maisons de Paris. On a fréquemment critiqué l'absence d'une double canalisation, l'une exclusivement réservée à la distribution de l'eau potable, l'autre servant à l'amenée dans les habitations de l'eau de Seine contaminée, mais pouvant s'employer en dehors des besoins de l'alimentation, et particulièrement à l'entretien des lieux d'aisances. L'établissement d'une double conduite qui entraînerait une énorme dépense ne répondrait pas d'une façon certaine au but hygiénique qu'elle paraît viser, une confusion dans l'emploi différent des deux eaux pouvant résulter du voisinage des deux conduites dans les lieux habités. La solution de l'emploi, pour les mêmes usages, d'eaux d'origines différentes (sources et rivières) doit être cherchée ailleurs. Elle est réalisée à Londres et dans toutes les villes d'Angleterre, comme je vais le dire, après avoir jeté un coup d'œil sur l'approvisionnement de Paris pour les services publics.

Paris dispose actuellement de plus de 400 000 mètres cubes d'eau de rivière ou de canaux par jour, soit 150 litres environ par tête d'habitant. La consommation moyenne journalière d'eau de ces provenances a été la suivante en 1903 :

Eau de Seine.	220 000	mètres cubes.
Eau de Marne.	18 400	—
Canal de l'Ourcq	120 100	—
Total.	358 500	mètres cubes.

La consommation a été inférieure de 70000 mètres cubes environ au volume disponible (428 511 mètres cubes).

En réunissant les volumes d'eaux potables et d'eaux de rivières, on constate que, l'année dernière, Paris disposait de plus de 676 000 mètres cubes d'eau, soit d'environ 254 litres par jour et par habitant. Si toute cette eau était pure, c'est-à-dire débarrassée complètement des matières azotées nocives et des microbes pathogènes, Paris occuperait évidemment le premier rang des cités sous le rapport de l'alimentation en eau à tous points de vue, et le *desideratum* d'une canalisation unique perdrait son intérêt. C'est ainsi qu'en Angleterre, les actes sanitaires en vigueur depuis de longues années interdisant d'une manière absolue l'admission, dans l'*unique* canalisation qui alimente les villes, de *toute eau* qui n'aurait pas été préalablement épurée au point de vue chimique et bactériologique, le problème hygiénique a été résolu.

La consommation totale d'eau à Londres n'atteint pas 160 litres par jour et par habitant. Boisson, usages domestiques, lessivage, entretien des water-closets, emplois industriels, en un mot toutes les consommations d'eau sont alimentées par une canalisation unique d'eau pure. L'indication des moyens mis en œuvre pour atteindre ce but nous amène à l'étude de la purification, obligatoire chez nos voisins d'outre-Manche, des eaux d'égout et des eaux résiduaires de toute nature.

III. — LES CHAMPS D'ÉPANDAGE

Des constatations qui précèdent résultent trois faits d'une importance capitale pour la salubrité de Paris :

1° L'infection permanente de la Seine par le déversement direct dans le fleuve d'une partie des eaux d'égout ;

2° L'insalubrité des champs d'épandage, hors d'état d'absorber et d'épurer la totalité des eaux résiduaires qu'on y déverse ;

3° Enfin, l'absence de purification des eaux de dérivation de ruisseaux et de rivières, improprement désignées sous le nom d'eaux de source, ainsi que nous l'avons montré.

Malgré les énormes dépenses que les contribuables ont eu à supporter, tant pour les installations des champs d'épandage que pour l'amenée d'eau potable à Paris (les dérivations de l'Avre, de la Vanne, de la Dhuis, du Loing et du Lunain représentent à elles seules une dépense supérieure à 300 millions), la désinfection de la Seine, reconnue obligatoire dans le *plus bref délai* par la commission de 1876, est encore à réaliser. L'installation des champs d'épandage, commencée à la même époque, est encore absolument défectueuse et la population reste exposée aux atteintes de maladies infectieuses par l'eau de boisson contaminée, à certains moments, et constamment, par les infiltrations, dans les puits attenant aux champs d'épandage du sewage non épuré.

Que dire, en outre, des agglomérations voisines de la capitale (villes comprises dans la boucle de la Seine, Gennevilliers, Asnières, Colombes, Courbevoie, Nanterre) alimentées exclusivement, de tout temps, par de l'eau directement puisée dans la Seine et n'ayant subi aucune purification? (Ce régime, antihygiénique au premier chef, que subissent les habitants de ces communes, va, dit-on, cesser enfin prochainement.)

Il nous semble que, quelque lourdes qu'aient été jusqu'ici les charges imposées aux contribuables sans qu'on arrive à un résultat définitif, et si élevées que puissent être les nouvelles dépenses à engager pour assurer à Paris de l'eau pure et de l'air pur, le devoir de ceux auxquels incombe la responsabilité de la santé publique est de faire cesser enfin un état de choses qui, depuis tant d'années, émeut, à si juste titre, l'opinion. Nous n'ignorons pas les difficultés de diverses natures que rencontre la solution complète d'un pareil problème. Mais ces difficultés, n'étant point des impossibilités, doivent être surmontées.

Le premier point que nous allons aborder a trait aux remèdes efficaces à apporter à la double infection de la Seine et des régions d'épandage des eaux d'égout. Les causes du mal étant connexes, les moyens de les faire disparaître le sont également.

Pour s'en rendre compte, il faut avoir une idée précise du but qu'on se propose par la création des champs d'épandage, des conditions que ces derniers doivent remplir pour répondre à leur destina-

tion, enfin de la manière tout à fait défectueuse dont ces conditions sont réalisées à Paris.

C'est à l'Angleterre, terre classique de l'épuration par le sol des eaux d'égout, que nous demanderons, comme l'ont fait d'ailleurs les savants et les ingénieurs des différents pays qui ont eu à étudier le sujet, la réponse aux deux premières questions.

Pratiqué depuis le milieu du dix-huitième siècle, en Écosse, aux portes d'Édimbourg, le procédé naturel d'épuration, par le sol, des eaux résiduaires, parfait lorsqu'il est bien appliqué, s'est extraordinairement répandu dans la Grande-Bretagne et dans le pays de Galles, au cours du siècle dernier.

En 1865, par suite de l'importance donnée à la canalisation des villes et de l'intérêt, pour la salubrité, qu'on accordait alors à l'emploi agricole des eaux d'égout, a été promulguée la première loi générale sur l'utilisation du sewage. Quels que soient, disait cette loi, les travaux de drainage, « il est interdit de construire un égout qui ait une décharge directe dans une rivière ou dans un cours d'eau ». Pour obéir à la loi, les municipalités furent désormais tenues de répandre leurs eaux résiduaires sur le sol, dans des conditions de surface et de distribution prévues par les actes sanitaires encore en vigueur aujourd'hui.

L'épuration par le sol, combinée avec l'utilisation agricole des eaux d'égout, exigeant des superficies de terrain considérables dont les grandes villes ne disposent pas toujours à leurs portes, on fit de nombreuses tentatives de purification chimique par précipitation, à l'aide de diverses substances, de la majeure partie des impuretés des eaux, mais elles échouèrent à peu près complètement, l'épuration étant insuffisante et les procédés de traitement trop onéreux. Presque partout on eut alors recours à l'épandage direct. Au premier rang des prescriptions de la législation anglaise, figure l'obligation de donner à la surface des champs d'irrigation une dimension proportionnée au chiffre de la population desservie par le réseau d'égouts. Cette surface est fixée par la loi, par 370 habitants, à 1 hectare de sol convenablement adapté, c'est-à-dire d'une capacité filtrante suffisante, soit 27 mètres carrés par habitant. A ce compte, l'épuration par épandage direct des eaux d'égout exigerait à Paris

une superficie totale de terrain *apte à l'épuration* de 7 180 hectares environ (27 m. × 2 660 000 habitants). Cette surface, majorée de 10 °/₀ pour chemins, bâtiments, canaux, etc., serait de 7 900 hectares, c'est-à-dire supérieure d'un tiers à la surface des champs d'épuration actuels.

Bien qu'à l'heure présente, sur les 72 000 immeubles existant à Paris, 32 400, c'est-à-dire 45 °/₀ seulement soient en communication avec les égouts pour l'écoulement de leurs eaux ménagères et résiduaires, l'insuffisance des champs d'épandage est manifeste et donne naissance aux marécages dont nous avons parlé. Que serait-ce, le jour souhaitable où les 52 000 fosses fixes ou mobiles encore existantes disparaîtraient, pour faire place au tout-à-l'égout ? La pollution du sewage, augmentant considérablement, aggraverait encore la situation des champs irrigués, et l'on verrait fatalement la contamination de la Seine s'accroître de la masse des eaux que, plus que jamais, les champs d'épandage refuseraient d'absorber.

La première conclusion qui se dégage de ce qui précède est l'obligation urgente, soit d'étendre considérablement les champs d'épandage, soit de recourir à d'autres moyens, ainsi que cela a lieu aujourd'hui dans un grand nombre de villes d'Angleterre, pour épurer le sewage, sans le faire passer par le sol.

Ainsi que j'ai pu le constater dans l'excursion que j'ai faite en novembre 1904 de l'autre côté de la Manche, la question de l'épuration des eaux d'égout est entrée, chez nos voisins, depuis une dizaine d'années, dans une phase nouvelle. L'épandage sur le sol, auquel on a renoncé pour toutes les installations récentes, a fait place aux procédés bactériologiques ne nécessitant que des surfaces très restreintes, tout en réalisant l'épuration à un degré tel que le déversement de l'effluent de ces installations est envoyé directement dans les cours d'eau, sans aucun risque de les contaminer.

Voici comment, au sujet de l'abandon des champs d'épandage, s'exprime l'une des plus hautes autorités de l'Angleterre en matière d'hygiène, M. le major Tulloch, qui a exercé pendant de longues années les fonctions d'ingénieur en chef du Local Government Board. « Pendant très longtemps, dit-il, et jusqu'à il y a vingt ou vingt-cinq années, l'opinion générale des ingénieurs et des hygié-

nistes anglais était que le sewage ne peut être purifié d'une manière satisfaisante par un procédé autre que l'épandage sur le sol. Comme il arrive pour toutes les œuvres qui sont destinées à disparaître, les résultats de la purification par l'épandage sur le sol ont été surfaits. On s'était fait une opinion très exagérée de la valeur fertilisante du sewage, et l'expérience a révélé bien des faits passés inaperçus au début ; elle a montré entre autres choses que, sous un climat humide, au moment des pluies, le sol est tellement saturé par l'eau du ciel, qu'il ne peut plus accomplir sa fonction épuratrice. D'un autre côté, pour être bien conduit, l'épandage nécessite dans les fermes la présence d'un personnel très nombreux. Enfin, la sursaturation du sol, résultant d'irrigations exagérées et prolongées, crée un état marécageux qui oblige à laisser le terrain en jachère pendant longtemps, de sorte que les surfaces prévues au début pour l'épandage cessent d'être suffisantes pour la purification du sewage. Les travaux des ingénieurs, les découvertes des chimistes et des bactériologistes ont amené un *revirement complet d'opinion* sur la valeur de l'épandage direct du sewage sur le sol. »

Ces travaux et découvertes ont prouvé que les eaux d'égout peuvent être purifiées par des procédés artificiels ne nécessitant, pour leur application, qu'une fraction tout à fait insignifiante de la surface exigée pour l'épandage direct. De plus, les procédés nouveaux, fonctionnant automatiquement, ne réclament qu'un personnel très restreint. La conséquence de cet ensemble de conditions est une réduction énorme dans les dépenses de premier établissement et d'entretien supportées par les villes.

Un autre grief à la charge des champs irrigués est l'incommodité résultant pour leur voisinage, plus ou moins proche, des émanations qui s'en dégagent. Dans certaines conditions atmosphériques et dans divers cas on ne peut les prévoir. « La terre est souvent sursaturée et corrompue par le sewage, et lorsque cela se produit, il se dégage du sol une puanteur insupportable qui se propage rapidement dans l'atmosphère par le vent. » La conclusion du rapport adressé par le major Tulloch au conseil municipal de Chester, au sujet d'un projet de création d'un champ d'épandage, est catégorique et vaut d'être citée textuellement : « Il est certain qu'après avoir fait toutes les

dépenses nécessaires pour créer la ferme à sewage projetée, si l'on tient compte des signes du temps et de l'opinion générale sur la question, il est certain, dis-je, que les champs d'irrigation devraient être abandonnés, comme cela a lieu dans beaucoup de villes qui ont dû renoncer à appliquer l'épandage sur le sol pour adopter d'autres procédés de purification. Bien que le public ignore presque complètement le fait, il n'en est pas moins vrai qu'il y a à peine une ville ou un district sur dix qui utilise aujourd'hui le terrain acheté en vue de l'épandage. »

La question m'a paru tranchée chez nos voisins et l'on ne pourrait plus, je crois, citer d'exemple récent de création de ferme à sewage en Angleterre et, moins encore, de projets à l'étude dans cette direction.

IV. — ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT PAR LES PROCÉDÉS BACTÉRIOLOGIQUES

La méthode d'épuration des eaux d'égout par épandage sur le sol est définitivement abandonnée en Angleterre, pour les raisons que je viens d'indiquer. Peu à peu, les villes qui l'avaient adoptée, pour se conformer aux prescriptions de la loi contre la pollution des cours d'eau, y renoncent : elles lui substituent le traitement bactériologique qui, à la fois, répond aux exigences de l'hygiène et, condition de toute importance pour les grands centres de population, réduit, dans d'énormes proportions, comme nous le verrons, les surfaces de terrain nécessaires à la purification du sewage.

En quoi consiste le traitement bactériologique ? Quelles sont les règles de son application et le choix à faire parmi les différentes formes sous lesquelles il a été jusqu'ici mis en œuvre pour réaliser l'épuration la plus complète des eaux d'égout ?

Une réponse succincte et précise à ces points d'interrogation paraîtra sans doute opportune, au moment où l'on semble, dans les hautes sphères administratives, disposé à renoncer à un optimisme que l'événement a été loin de justifier, pour s'orienter dans la voie ouverte par la bactériologie.

En quoi consistent les impuretés principales des eaux d'égout? Cette notion est indispensable pour apprécier la valeur des procédés destinés à les éliminer des liquides résiduaires, de façon à rendre ces derniers inoffensifs pour les cours d'eau qui les recevront.

Le sewage brut, indépendamment des corps étrangers (bouchons, papiers, chiffons, etc.) qu'on arrête aisément par un grillage à la sortie des égouts, renferme cinq sortes d'impuretés, savoir : 1° matières minérales insolubles ; 2° matières minérales en dissolution ; 3° matières organiques solides ; 4° matières organiques dissoutes ; 5° nombreux microbes d'origine végétale ou animale dont beaucoup sont pathogènes.

Les matières minérales solides ou dissoutes, si, ce qui est le cas général, elles ne contiennent pas de sels métalliques : cuivre, plomb, zinc, etc., n'offrent aucun danger d'empoisonnement des cours d'eau. Il n'en est pas de même des substances organiques, principalement des matières azotées, résidus de l'alimentation et de la nutrition, produits de putréfaction de substances animales, etc., que l'épuration du sewage doit éliminer entièrement, en transformant leur azote en nitrates inoffensifs aux doses infimes où on les rencontre dans le sewage épuré.

Quant aux bacilles pathogènes, l'élimination doit être complète avant le déversement, dans les cours d'eau, de l'effluent des installations d'épuration.

Avant de décrire le système bactériologique Candy, en fonction aujourd'hui dans une cinquantaine de villes ou districts d'Angleterre, proclamé supérieur à tous les autres par les hygiénistes qui font autorité chez nos voisins et sont investis de la surveillance officielle du service des eaux, système adopté dernièrement par la ville d'Ems après une enquête approfondie faite sur place, par les délégués de cette ville, je crois utile d'exposer brièvement les principes sur lesquels reposent les procédés d'épuration bactériologique et les résultats de leur application (1).

1. On trouvera réunis dans le tirage à part du mémoire qui a paru dans le *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale* (n° de janvier 1905) les détails de l'étude que j'ai faite en Angleterre des procédés d'épuration des eaux d'égout



Ces procédés se rangent sous les rubriques suivantes :

1° Procédé anaérobique (*septic tanks*) : putréfaction. [Système Cameron] (1) ;

2° Procédé de contact (*contact-beds*). [Système Dibbin] ;

3° Procédé aérobique. Lits d'oxydation.

Les micro-organismes végétaux sont les agents essentiels de l'épuration des eaux d'égout. On sait que ces infiniment petits appartiennent à deux grands groupes : les *anaérobies*, ne pouvant vivre qu'à l'abri de l'air et en décomposant les matières organiques pour leur emprunter l'oxygène nécessaire à leur existence, et les *aérobies* qui prennent exclusivement à l'air l'oxygène qui leur est nécessaire. A côté de ces deux classes de microbes, il existe d'autres bactéries pouvant jouer alternativement les deux rôles.

Procédé anaérobique (*septic tanks*). — Les eaux d'égout à leur arrivée sont reçues dans des réservoirs clos et rigoureusement soustraits à l'action de l'air, où elles séjournent pendant vingt-quatre heures. Les bactéries anaérobies du sewage se développent prodigieusement dans le liquide; elles désagrègent, décomposent et liquéfient les substances organiques solides (matières fécales, résidus de chair, etc.), tandis que les impuretés minérales (sable, terre, etc.) se déposent. Ce système a plusieurs graves inconvénients qui le font

---

par les divers systèmes, et des procédés de purification des eaux potables. Les descriptions sont accompagnées de photographies des installations. (En vente à la librairie du *Temps*, 5, boulevard des Italiens.)

1. En 1900, M. F. Launay, alors ingénieur en chef de l'assainissement de Paris, adressait au préfet de la Seine, à la suite d'une mission en Angleterre, un très intéressant rapport sur l'épuration bactérienne des eaux d'égout. Ce travail fut suivi de plusieurs communications au *Congrès international d'hygiène et de démographie en 1900* et à la *Société de médecine publique et de génie sanitaire*. Malgré les indications précises de M. Launay sur les procédés Dibbin, Cameron, etc., la question ne fit pas un pas. Le service des eaux, s'obstinant à persévérer dans le système de l'épandage, ne tenta aucun essai d'application des procédés bactériologiques.

M. Launay, qui a quitté le service de la ville, est aujourd'hui secrétaire de section au conseil général des ponts et chaussées.

Il a présenté récemment, au dernier congrès d'hygiène publique, un intéressant rapport d'ensemble sur l'application des procédés bactériologiques à l'épuration des eaux d'égout.

abandonner dans les nouvelles installations : il exige de très vastes bassins, le sewage devant y séjourner vingt-quatre heures : il répand, en été surtout, des odeurs insupportables, dues à la production de gaz fétides par la putréfaction des matières organiques ; enfin, il n'épure pas suffisamment le sewage pour qu'on puisse le déverser, comme on l'a fait au début, dans les cours d'eau. On reconnut bientôt que l'effluent était dangereux et qu'il fallait, soit le diriger sur des champs d'épandage, soit sur des lits d'oxydation formés de gravier, de briques concassées, de coke, etc. Dans le passage à travers ces lits, les matières organiques s'oxydent, comme nous le verrons plus loin, en donnant naissance à de l'ammoniaque et à des nitrates.

Procédé de contact (*contact-beds Dibbin*). — Ce système élimine partiellement les inconvénients du précédent ; voici en quoi il consiste essentiellement. Après qu'on les a séparées de leurs impuretés minérales, les eaux d'égout arrivent dans de vastes réservoirs à ciel ouvert où elles séjournent dix à douze heures. Dans ce temps, les éléments organiques solides sont liquéfiés et décomposés par les anaérobies. En effet, la valve de décharge, placée à la base du lit, reste fermée : l'air n'a donc de contact qu'avec la couche supérieure du liquide. Quand on juge que le contact a été suffisamment prolongé, ce qui dépend de la composition du sewage, on ouvre la valve d'éduction et on envoie le liquide sur un lit d'oxydation. Après la vidange du lit de contact, on laisse les matériaux qui le remplissent exposés à l'air pendant six à huit heures, avant d'y introduire une nouvelle quantité de sewage. La capacité d'oxydation des matériaux filtrants se renouvelle au contact de l'atmosphère, ce qui s'oppose au dégagement d'odeurs fétides. Après un séjour de douze heures dans le lit d'oxydation, sans agitation, on soutire le liquide, qui est assez limpide, mais qui renferme encore un nombre considérable de bactéries pathogènes et autres, si bien qu'il faut encore, fréquemment, le faire passer par le champ d'épandage, avant de l'envoyer dans un cours d'eau. L'installation des lits de contact exige encore de grandes surfaces, inférieures toutefois à celles qu'occupent les septic tanks.

Le principe des lits de contact et des lits d'oxydation a un caractère commun : tous deux fonctionnent par les bactéries qui dévorent

et transforment la matière organique du sewage, mais les deux systèmes présentent une différence capitale, de la plus grande importance au point de vue hygiénique et toute en faveur de l'action des lits aérobiques sur les autres systèmes. Cette différence consiste dans la nature des bactéries qui détruisent les matières organiques. Les bactéries des septic tanks et celles des lits de contact appartiennent au groupe des anaérobies qui pullulent, au mieux, au sein de l'eau, à l'abri de l'air, et dont la faculté consiste principalement à opérer la désagrégation et la liquéfaction (hydrolisation) des masses organiques qu'elles préparent à subir l'action épurante des lits aérobiques. Les bactéries de ceux-ci, elles, ne vivent qu'au contact de l'air et manifestent toute leur activité sous l'influence de l'oxygène. On sait avec quelle prodigieuse rapidité les microbes se multiplient dans les milieux qui leur conviennent, on ne peut donc s'étonner que les anaérobies se rencontrent dans les effluents des septic tanks et des lits de contact, en nombre très considérable, souvent aussi élevé, et parfois supérieur, à celui qu'en contient le sewage brut. Nous allons en donner quelques exemples :

Le Dr Griffith, membre de la Société royale de Londres, a fait l'analyse bactériologique du sewage de Reigate, de l'effluent des lits de contact et de celui des lits aérobiques du système Candy, dont je m'occuperai plus loin. Chacun des chiffres suivants représente la moyenne de trois examens bactériologiques ; ils indiquent le nombre de bacilles et de bactéries trouvés, par centimètre cube de liquide.

Sewage brut : 8 933 333. (Présence du *bacillus coli communis* et du bacille typhique d'Eberth.)

Effluent du lit de contact : 1 433 333. (Bactéries ordinaires et bacilles *coli.*)

Par rapport au sewage, la purification bactériologique est de 84 %.

Effluent du lit aérobique Candy : 54 333 microbes par centimètre cube. On n'y rencontre plus que les bactéries ordinaires inoffensives de l'eau : il n'y a plus de bacilles *coli.* La purification bactériologique est de 99,45 % et le Dr Griffith conclut de ses analyses que l'effluent Candy est deux cents fois plus pur que le sewage.

Je reviendrai plus loin sur ces comparaisons quand j'aurai décrit

avec quelque détail le procédé aérobique le plus parfait actuellement, de l'avis de toutes les autorités compétentes d'Angleterre et d'Allemagne. Mais, avant d'abandonner le sujet, je citerai les résultats de l'étude qu'ont faite les professeurs Clower et Houston sur la composition bactériologique du sewage brut et du liquide des lits de contact de Crossness. A Crossness, le sewage était traité, en 1899, par son séjour dans des lits de contact remplis de coke sur une épaisseur de 4 mètres. Du mois de mars au mois d'octobre de l'année dernière, MM. Clower et Houston ont procédé, à dix intervalles, à la numération des microbes et à la spécification du nombre de bacilles pathogènes, bacille *coli* et autres. Je me bornerai à indiquer les extrêmes constatés dans cette étude bactériologique :

Sewage brut de Crossness. — Le nombre total de bactéries par centimètre cube (gélatine à 20°) a varié de 3 560 000 à 11 170 000; le nombre des microbes pathogènes — toujours par centimètre cube — a oscillé entre 100 000 et 1 900 000.

Effluent du lit de contact à coke de 4 mètres d'épaisseur. — Nombre total de bactéries : 1 490 000 à 16 millions. Le nombre de bactéries pathogènes a varié entre 100 000 et 900 000. Rien ne peut mieux montrer l'insuffisance des lits de contact, employés seuls, pour l'épuration des eaux d'égout. Nous aurons occasion, après avoir décrit les lits d'oxydation du système Candy, de montrer leur supériorité sur les lits Dibbin à un autre point de vue encore, celui des quantités de sewage qu'à volume égal de matériaux filtrants, ils peuvent épurer dans un temps donné.

V. — LE SYSTÈME D'ÉPURATION CANDY

Au courant de l'été dernier, mon attention a été appelée, à nouveau, sur la double question de l'épuration des eaux d'égout et de la purification des eaux potables, par les publications du Dr Thresh, directeur du laboratoire d'hygiène publique du Medical London Hospital, de l'ingénieur Candy, du major Tulloch et par le rapport des délégués de la ville d'Ems, venus en Angleterre pour s'enquérir du nouveau procédé de traitement du sewage. Les con-

clusions de ce rapport, très circonstancié, me frappèrent. La commission d'Ems, composée d'un médecin, d'un ingénieur et d'un architecte, s'exprime ainsi : « En Angleterre, de tous les lits aérobiques, ceux du système Candy, avec sprinklers et carboferrite, sont considérés comme les meilleurs de tous les procédés que la commission a étudiés... Le professeur Vogel, de Berlin, qui a étudié le procédé au carboferrite et qui a visité les installations de Hendon, Acton et Boyton, a émis, dans son ouvrage paru en 1896, l'opinion que le procédé Candy dépasse de beaucoup tous les procédés imaginés jusqu'ici... Après toute réflexion, les membres de la commission recommandent d'appliquer le système Candy à l'épuration des eaux d'égout de la ville d'Ems. Nous avons, disent-ils, la ferme conviction que notre ville trouvera, dans cette application, le procédé le meilleur et le plus économique qu'on puisse rencontrer actuellement. »

D'autre part, le docteur Thresh, dans une conférence faite au mois de mai 1904, à Manchester, concluait en ces termes, au sujet de la purification des eaux potables : « Un traitement spécial, disait le Dr Thresh, s'impose, dans le cas où le but de la filtration est la destruction de la matière organique en dissolution dans l'eau. Actuellement, le seul moyen de débarrasser l'eau de ces matières organiques, dans lequel j'ai confiance, est la filtration au travers du carboferrite (procédé Candy). »

En présence des avis unanimes des hommes compétents et connaissant parfaitement la question, je résolus, à la fin du mois d'octobre 1904, d'aller visiter les installations anglaises d'épuration des eaux d'égout et de purification de l'eau potable : je voulais voir fonctionner les *sprinklers*, les lits et les filtres à *carboferrite* dont on s'accordait à déclarer la supériorité sur les autres systèmes. Mon but était, si mon étude sur place m'amenait à partager l'opinion des hygiénistes cités plus haut, de faire connaître en France des méthodes absolument ignorées dans notre pays et d'appeler sur elles l'attention des villes si nombreuses encore où l'assainissement et l'alimentation en eau potable laissent tant à désirer.

Jetons maintenant un coup d'œil sur le système Candy. Appliqué à l'épuration des eaux d'égout, il consiste essentiellement dans le

mode de distribution du sewage sur les lits d'oxydation et dans la composition des matériaux filtrants de ces derniers. L'appareil de distribution du sewage diffère de tous ceux qu'on a employés jusqu'ici ; on le désigne en Angleterre sous le nom de *sprinkler*, que nous lui conserverons. Dans la constitution des lits d'oxydation entre une substance minérale obtenue par un traitement particulier du carbonate de fer naturel dont M. Candy a étudié et fait connaître les propriétés oxydantes, il y a plus de quinze ans déjà, et qu'il nomme *carboferrite*. Une courte description du sprinkler et de son fonctionnement est nécessaire pour faire saisir le caractère original du système d'épuration dont il est l'organe principal.

Le sprinkler est une sorte de tourniquet hydraulique, imaginé par l'ingénieur Candy, perfectionné par M. Wittaker, et connu chez nos voisins sous le nom de *sprinkler Candy-Wittaker*.

Cet appareil consiste essentiellement en deux tubes de laiton horizontaux, à deux bras, longs de 12 à 30 mètres suivant les cas : ces tubes sont perforés, de distance en distance, de trous de 6 millimètres de diamètre, disposés latéralement en sens inverse sur les bras du tube, afin que l'eau, arrivant par la partie centrale qui réunit les deux tubes placés en croix, provoque, par son écoulement, le mouvement rotatif de l'appareil. La vitesse du sprinkler et son débit, réglés automatiquement, peuvent varier à volonté.

Chaque sprinkler tourne pendant une, deux ou trois minutes, suivant les conditions locales de l'installation, puis il s'arrête automatiquement pendant un temps double et reprend, toujours automatiquement, son mouvement de rotation. L'interruption se produit par l'action d'une soupape qui s'ouvre ou se ferme à des intervalles fixes qu'on peut régler à volonté. Cette soupape suspend ou ramène l'écoulage de l'eau dans le petit réservoir qui forme la tête du sprinkler ; son réglage se fait automatiquement par un dispositif très ingénieux. Le sprinkler fonctionne avec une très faible chute d'eau (25 à 30 centimètres) : il est réglé pour distribuer, par intermittence, mais sans interruption, nuit et jour, et indéfiniment, un volume d'eau déterminé ; en général 1 mètre cube d'eau en vingt-quatre heures, par mètre carré de surface du lit.

Ce qui distingue essentiellement de tous les autres procédés de

déversement de l'eau d'égout sur les lits épurateurs l'emploi du sprinkler, c'est le fonctionnement intermittent de l'appareil : la couche déversée sur le lit pendant deux minutes, par exemple, ne séjourne pas dans le lit, comme cela a lieu chez les contact-beds ; elle descend lentement à travers les matériaux filtrants, dont les pores constamment remplis d'air ne s'obstruent jamais. Les matières organiques et les microbes anaérobies (pathogènes) que renferme le sewage sont détruits par l'oxydation. La descente de l'eau à travers les couches du lit provoque, surtout pendant les temps d'arrêt du sprinkler, une aspiration (un vide) qui oblige l'air atmosphérique à pénétrer dans l'intérieur de la masse. Il se produit donc, à de courts intervalles, une ventilation des matériaux de remplissage du lit qui a pour résultat un nouvel approvisionnement en oxygène. Les lits d'oxydation, contrairement à ce qui se passe dans les septic tanks et les contact-beds, sont constamment ouverts à leur base comme à leur surface, et l'effluent purifié s'écoule en quantité égale à celle de l'arrivée du sewage par le sprinkler. Une épuration mécanique et un séjour de quelques heures dans les *préparateurs* où les matières organiques se désagrègent et se liquéfient par l'action des microbes anaérobies, complètent l'installation et s'opposent au colmatage des matériaux du lit, auquel ils assurent une durée de fonctionnement pour ainsi dire indéfinie.

Deux mots sur la constitution des lits bactériens du système Candy. Formés par une superposition de couches de sable et de gravier, mâchefer, briques concassées, coke plus ou moins fin, comme les lits de contact, ils diffèrent essentiellement de ces derniers par l'interposition, au centre des matériaux filtrants, d'une couche de carboferrite de 20 à 25 centimètres d'épaisseur. Cette substance est un composé d'oxyde de fer magnétique, de peroxyde et de protoxyde de fer et de charbon. Les analyses et l'étude qu'en ont faites divers chimistes, et notamment l'éminent professeur de Manchester, sir Henry Roscoe, ont confirmé les propriétés exceptionnelles qu'elle présente comme matière filtrante et oxydante. J'aurai l'occasion d'y revenir à propos de la purification des eaux potables.

Suivant le degré d'impureté du sewage d'une ville, l'épuration se fait par le fonctionnement du sprinkler sur un seul lit à carboferrite



Fig. 1. — Installation d'épuration des eaux d'égout à Uxbridge (filtration simple).
Du côté droit de la photographie, on voit l'ancien champ d'épuration des eaux d'égout par le sol, aujourd'hui abandonné.

(traitement dit simple ; voir la figure 1 traitant du sewage d'Uxbridge), ou sur deux lits, dont l'un est formé de matériaux filtrants sans carboferrite et le second à carboferrite (figure 2, épuration de sewage de Darley-Abbey).

Ce dernier reçoit par gravitation, toujours à l'aide du sprinkler,

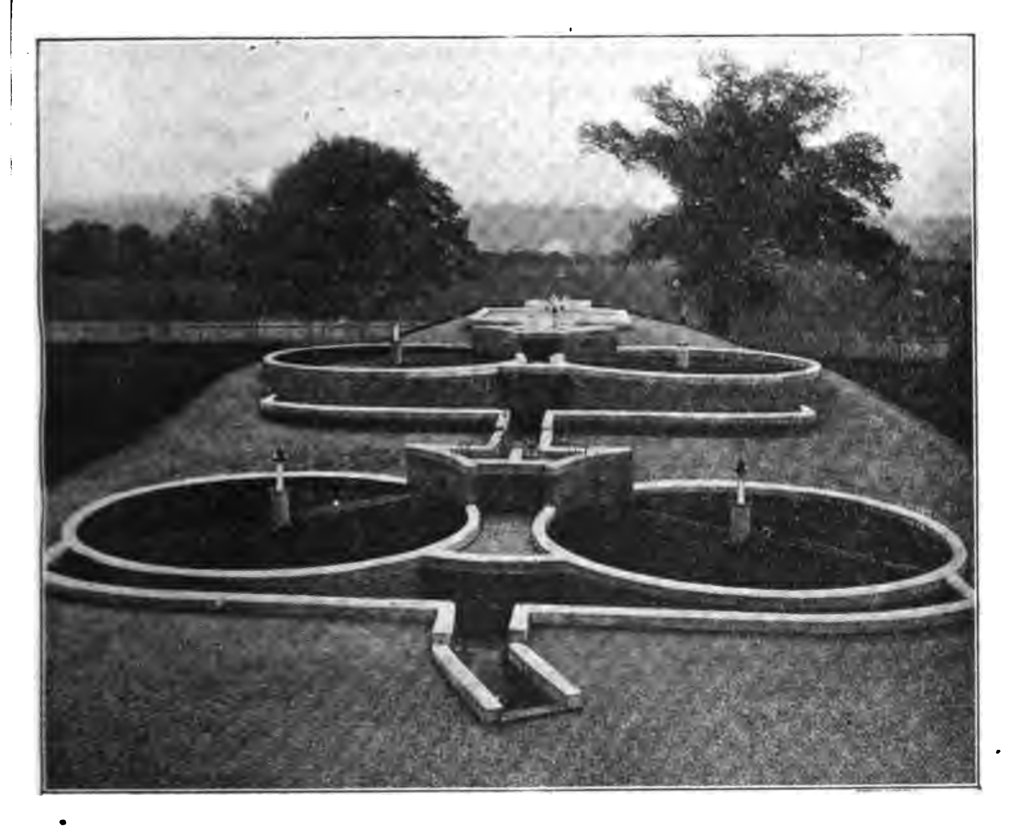


Fig. 2. — Installation du Darley-Abbey (filtration double).

l'effluent du premier lit (filtration double). Dans le premier cas, que j'ai étudié à Uxbridge, l'épuration d'eaux résiduaires est telle que l'effluent est déversé dans le cours d'eau voisin, sans passer par un champ d'épandage, sans qu'il y ait aucun danger de contamination de la rivière.

Dans le cas de filtration double, la pureté de l'effluent, comme j'ai pu le constater à Darley-Abbey, est telle que les ouvriers de cette

petite ville l'utilisent fréquemment comme boisson, bien qu'on les en dissuade, sans que jamais il se produise chez eux d'accidents ou de maladies.

Quelques chiffres empruntés aux analyses du laboratoire d'hygiène du Medical London Hospital suffisent pour permettre la comparaison de l'efficacité des septic tanks, des contact-beds et des lits à sprinkler, pour l'épuration d'un même sewage.

Filtration simple : taux pour cent d'épuration.

	AMMONIAQUE	
	libre	organique
	—	—
Lits anaérobiques	30,0	55,25
Contact-beds Dibbin	22,9	56,30
Lits à sprinkler	71,9	75,90

Filtration double : la purification de sewage sortant du second lit à carboferrite-sprinkler a été trouvée par le Dr Thresh de :

Pour l'ammoniaque libre	100 °/o
Pour l'ammoniaque organique	92

Les constatations qu'il m'a été donné de faire, les renseignements que j'ai recueillis auprès des chefs des services hygiéniques de différents districts m'autorisent à m'associer complètement aux conclusions des délégués de la ville d'Ems : supériorité incontestable du système Candy sur les lits de contact, due à la continuité de l'écoulement des eaux souillées à travers le lit à carboferrite et à la circulation constante d'air dans l'intérieur des matériaux filtrants ; élimination complète des bacilles pathogènes qui pullulent dans l'effluent des lits de contact; enfin, condition très appréciable, traitement d'un volume bien supérieur d'eaux d'égout. « En réalité, dit la commission d'Ems, les lits aérobiques Candy, à Wealdstone, épurent, en temps sec, dix fois autant d'eau d'égout que les lits de contact de Hampton ; en effet, à Wealdstone, une surface de 904 mètres carrés, c'est-à-dire égale à la moitié de celle de Hampton, épure une quantité double de sewage, soit 1 362 mètres carrés au lieu de 655 mètres carrés à Hampton. »

De cette comparaison résulte une notable réduction de l'espace nécessaire et, par suite, une grande économie dans les dépenses. Pour en donner une idée, il me suffira d'une citation empruntée au rapport du major Tulloch au conseil municipal de Chester.

Pour cette ville de 50 000 habitants, l'épandage sur le sol aurait nécessité une superficie de 160 hectares. En appliquant le système des lits de contact, il eût fallu construire des chambres de clarification d'une capacité de 10 230 mètres cubes et consacrer une surface de 4 hectares à l'installation des lits et filtres à bactéries. Le système Candy (lit d'oxydation à carboferrite-sprinkler) n'a exigé, pour son installation complète, qu'une surface insignifiante de 33 ares, et les bassins de réception du sewage n'ont qu'une capacité de 4 320 mètres cubes, le séjour des eaux d'égout dans les réservoirs de l'usine d'épuration étant beaucoup plus court qu'avec le système Dibbin. La dépense, avec l'adoption des lits de contact, était évaluée par M. Tulloch à 2 750 000 fr. Elle a été réduite de 47 0/0 par l'établissement du système Candy.

Une dernière constatation intéressante à noter : le système Candy étant absolument automatique, du commencement à la fin de l'épuration, fonctionne avec une extrême simplicité et n'exige aucune surveillance.

VI. — EXPÉRIENCES DU Dr CALMETTE SUR L'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT

M. le Dr Calmette, directeur de l'institut Pasteur de Lille, auquel on doit déjà tant d'importants travaux, au premier rang desquels se place la découverte du vaccin et du contrepoison du virus mortel des serpents venimeux, a entrepris, dans ces dernières années, l'étude scientifique de l'épuration des eaux d'égout par les lits bactériens.

Dans une communication très intéressante au congrès d'hygiène sociale à Arras, au mois de juillet dernier, le savant bactériologiste a exposé le plan et le programme des expériences entreprises, avec le concours de collaborateurs distingués, sur l'épuration des eaux

d'égout de Lille et des eaux résiduaires de la sucrerie de Pont-d'Ardres. Au moment de déduire de l'ensemble des faits exposés au cours de notre étude les conclusions qui s'imposent, à mon sens, si l'on veut s'acheminer le plus promptement vers la solution, attendue depuis bientôt trente ans, de la désinfection de la Seine et des environs de Paris, je suis heureux de signaler la concordance des vues qui nous amènent, M. Calmette et moi, à considérer le système d'épuration exclusivement biologique comme le seul qu'on doive adopter pour le traitement du sewage. Avec tous les hygiénistes, M. Calmette proscrit, pour les raisons que j'ai données, le traitement des eaux par les précipitants. Il condamne également l'épandage, quand on ne peut pas, ce qui est le cas de Paris et de Lille, le pratiquer sur des surfaces suffisamment étendues de terres perméables, profondes et bien drainées, offrant, en un mot, les conditions indispensables d'une épuration complète, par les bactéries du sol, des eaux qu'on y déverse.

« Dans le Nord de la France, dit-il, les sols de porosité moyenne sont capables d'épurer environ 110 mètres cubes d'égout par jour et par hectare, sur 1 mètre de profondeur. Or ce chiffre, qui correspond à 40 000 mètres cubes par hectare et par an, est celui qui a été adopté par la ville de Paris pour ses champs d'épandage. Il ne peut être que rarement dépassé. A ce taux, une ville de 100 000 habitants produisant avec le tout-à-l'égout, à raison de 100 litres par habitant et par jour, 10 000 mètres cubes d'eau résiduaires, ou 3 650 000 mètres cubes par an, nécessiterait une surface d'épandage égale à 91 hectares. »

Le calcul du Dr Calmette, appliqué à Paris, porterait à environ 2 294 hectares seulement la surface des champs d'épandage nécessaire pour supprimer le déversement dans la Seine de la totalité des eaux d'égout. Mais le volume d'eau d'égout est à Paris de 250 litres environ par tête d'habitant, au lieu de 100 dans l'hypothèse de M. Calmette; c'est donc à 5 745 hectares que correspondrait, sur les bases admises par l'éminent directeur de l'institut Pasteur de Lille, la superficie nécessaire pour épurer, *sans utilisation agricole,* les eaux résiduaires d'une population de plus de 2 millions et demi d'habitants, la quantité d'eau à évacuer par habitant égalant

deux fois et demie celle qu'a supposée M. Calmette dans son évaluation pour Lille. Tout porte à penser, d'après les constatations faites à Achères, Gennevilliers, que cette surface d'environ 6 000 hectares ne suffirait pas à l'épuration (sans culture) du sewage de Paris.

D'autre part, les 245 000 000 de mètres cubes du sewage de Paris, déversés à raison de 8 000 mètres cubes par hectare et par an, chiffre rationnel, auraient pu fertiliser plus de 30 000 hectares.

Si, au début, on avait réalisé le programme proposé par quelques esprits clairvoyants, qui aurait consisté à conduire au loin sur des terres pauvres (Champagne, Sologne, etc.) le sewage de Paris, le double but qu'on s'est, à tort, proposé à Paris — l'épuration et l'utilisation agricole — eût pu être atteint et l'on aurait fécondé d'énormes surfaces de terre en leur apportant à la fois de l'eau et des matières fertilisantes. En se contentant de porter progressivement à 4 000 ou 5 000 hectares la surface des champs d'épandage, on n'a réussi qu'à empoisonner la banlieue parisienne, tout en continuant à empoisonner la Seine. Ce fleuve reçoit, en effet, si l'on s'en rapporte aux indications que j'ai lieu de croire exactes, des quantités d'eaux d'égout énormes et s'élevant à certains moments au tiers ou à la moitié du volume de ces dernières.

L'erreur capitale, commise au début, a été de confondre, dans l'application, l'épuration et l'utilisation agricole, sans tenir compte des différences considérables, en tant que surfaces d'épandage, nécessitées pour la réalisation de ce double programme. J'ai, à diverses reprises, insisté autrefois sur les graves mécomptes auxquels devait conduire cette confusion.

Le docteur Calmette, à son tour, les met en relief. « Il est incontestable, dit-il, que l'épandage présente, au point de vue de l'hygiène, des inconvénients graves qui ne permettent plus d'en conseiller l'emploi lorsqu'on peut l'éviter. L'exemple de Gennevilliers et d'Achères, celui surtout de Carrières-Triel montre que les nappes souterraines qui alimentent les puits des villages voisins se contaminent trop facilement par les infiltrations profondes du sol, et que la grande culture, sur laquelle on avait fondé tant d'espérance, souffre très souvent d'être obligée d'absorber de trop grandes quantités d'eau d'égout. C'était d'ailleurs une erreur de compter, comme

on l'a fait au début, sur le rôle épurant de la culture. On supposait que les plantes agissaient de deux manières en se développant : on pensait que la pénétration de leurs racines rendait le sol plus perméable, ce qui est exact; mais on croyait aussi qu'elles pouvaient utiliser pour leur nutrition une grande partie des matières organiques de l'eau d'égout. Or la science a montré, depuis les acquisitions récentes de la physiologie végétale et de la bactériologie, que les plantes ne peuvent absorber les matières organiques qu'à l'état de nitrates solubles... Il y a donc tout avantage à réaliser cette transformation dans les eaux résiduaires, avant d'utiliser celles-ci pour l'irrigation. Enfin, il est aujourd'hui démontré que l'accumulation des matières organiques, en train de se décomposer à la surface du sol arable, favorise le développement et la multiplication d'insectes tels que les moustiques et les mouches dont le rôle, comme agents de transmission des maladies infectieuses, apparaît de plus en plus important. Elle favorise aussi le développement sur les végétaux de toutes sortes de vers et de parasites intestinaux (trichocéphales, ascaris, oxyures) capables de produire des désordres souvent graves chez l'homme et chez les animaux domestiques nourris avec les légumes crus ou avec les fourrages que l'on cultive sur les champs d'irrigation. Le seul moyen d'éviter ces inconvénients consiste à ne pratiquer l'épandage que sur des sols perméables, *non cultivés* ou seulement boisés, assez loin de toute agglomération et même de toute habitation, pour que les nappes souterraines superficielles qui alimentent des forages et des puits ne puissent en éprouver aucune contamination. »

Les vues du Dr Calmette, on le voit par cette citation, s'accordent de tout point avec les miennes pour proscrire l'épandage, quand on ne peut pas le faire dans des conditions qui écartent les dangers et les incommodités qu'il rappelle avec toute l'autorité qui s'attache à sa haute personnalité scientifique. Il faut cesser de confondre l'épuration avec l'utilisation agricole, impossible avec les 44 000 à 45 000 mètres cubes déversés, en une année, sur un hectare de terre (226 000 000 mètres cubes sur 5 250 hectares en 1902).

L'an dernier, M. le Dr Calmette, avec la collaboration de M. Buisine, de M. le Dr Marmier, et de MM. Rollants, Boullanger, Bonn,

Constant et Massol, chimistes et ingénieurs-agronomes, et de M. le Noan, conducteur des ponts et chaussées, a tracé tout un programme de recherches sur l'épuration bactériologique, dont les résultats auront, sans nul doute, un grand intérêt. Dès à présent, il a installé, à proximité de Lille, une expérience d'épuration bactériologique de sewage particulièrement difficile à traiter, en raison de sa concentration et de sa teneur en résidus industriels. Il a choisi pour cet essai l'égout collecteur de la Madeleine, qui se déverse dans la Basse-Deule, et dont le débit moyen oscille entre 500 et 700 mètres cubes par vingt-quatre heures. Voici la description sommaire que donne M. Calmette de la marche des opérations de la Madeleine. Au sortir des fosses septiques où s'opère, par les microbes anaérobies, l'hydrolisation des matières organiques solides que j'ai décrite précédemment, l'eau recueillie dans un canal collecteur est déversée sur les lits bactériens, par un système distributeur en éventail et à rigoles qui assurent sa répartition régulière dans toute l'étendue du lit.

Les lits bactériens de Lille et la distribution de l'eau à épurer diffèrent essentiellement du système Candy en deux points : les lits sont *fermés* à leur base et l'eau d'égout qui y arrive y séjourne pendant deux heures au contact des matériaux filtrants avant de s'écouler : la distribution d'eau est interrompue après le remplissage du lit. Dans le système Candy, les sprinklers fonctionnent nuit et jour, avec intermittences, mais sans interruption, et l'effluent s'écoule *constamment* à la base des lits. Il est aisé de voir quelle influence cette différence de marche des lits exerce sur le volume d'eau épuré, par la même surface filtrante, en vingt-quatre heures.

On règle à Lille les périodes alternatives d'immersion et d'aération de la manière suivante (1) :

Une heure pour remplir ;

Deux heures de plein ;

Une heure pour vider ;

Quatre heures de vide pour aérer les scories.

Soit huit heures par période : « Chaque lit peut fonctionner sui-

1. Ce sont les règles fixées par le Local Government Board, en 1900, pour le traitement des eaux d'égout, par les lits de contact, en Angleterre.



vant trois périodes semblables, par jour de vingt-quatre heures. Si la capacité des lits, dit M. Calmette, est calculée de manière qu'à chaque période ils puissent recevoir, en moyenne, 333 litres d'eau d'égout par mètre cube ou par mètre carré de surface du lit, il en résulte qu'on peut déverser facilement sur chaque lit 1 mètre cube d'eau d'égout par mètre carré de surface et par jour.

« Avec deux contacts successifs on épurera donc, au total, 500 litres par mètre carré de surface et par jour, soit 5 000 mètres cubes par hectare et par jour, c'est-à-dire un volume d'eau d'égout au moins quarante-cinq fois plus considérable que par l'épandage au taux réglementaire adopté pour les champs d'irrigation parisiens. » Rapprochons cette indication des faits constatés en Angleterre. A Reigate, on épure 2 712 litres par mètre carré, en vingt-quatre heures ; à Uxbridge (filtration simple) 2 723 litres ; à Darley-Abbey 3 000 litres ; à Wealdstone de 1 627 à 4 881 litres, suivant les saisons.

Ces chiffres donnent une idée de la supériorité du sprinkler Candy-Wittaker sur les autres modes de distribution de l'eau d'égout sur les lits bactériens.

Si incomplète que soit l'étude que je viens de faire des graves questions soulevées par l'épuration des eaux d'égout, je pense en avoir suffisamment précisé les grandes lignes pour pouvoir formuler une opinion raisonnée sur les mesures à adopter, en vue d'assurer enfin l'assainissement de la Seine, si étroitement lié à l'alimentation de Paris en eau potable, qu'il me reste à étudier.

VII. — L'INFECTION DE LA SEINE ET DE LA BANLIEUE PARISIENNE L'ÉTAT ACTUEL ; LES CAUSES ; LES REMÈDES

Trente années se sont écoulées depuis le jour où la commission instituée par la préfecture de la Seine, pour étudier l'assainissement du fleuve et l'épuration des eaux d'égout, déclarait, en conformité des avis du conseil supérieur des ponts et chaussées et du conseil d'hygiène et de salubrité, que « l'infection de la Seine par les eaux d'égout, absolument incontestable, devait cesser dans le plus bref délai ».

La commission ajoutait : « Il est indispensable que les eaux d'égout soient dépouillées des matières organiques avant d'être admises dans la Seine. Quant au mode d'épuration, la combustion dans le sol des matières organiques est le seul procédé connu (1875) donnant des résultats satisfaisants, aux conditions nécessaires suivantes :

1° Porosité convenable du sol, afin que l'eau ne soit point arrêtée dans sa marche descendante et que l'air pénètre dans la mesure voulue pour la combustion qu'il doit opérer ;

2° Régularité dans la succession des arrosages et dans la *quantité* d'eau consommée pour chacun d'eux, telle que l'eau emploie à traverser l'épaisseur du sol filtrant tout le temps nécessaire pour l'épuration ;

3° Drainage suffisant pour évacuer la *totalité* des eaux épurées par le sol.

La commission admettait que la terre de la plaine de Gennevilliers (il n'était alors question que de ce champ d'épandage) peut épurer, sous une épaisseur de sol actif de 2 mètres, 50 000 mètres cubes d'eau par hectare et par an, *si toutes les conditions de l'épuration sont d'ailleurs remplies*. Ce volume, disait-elle, est une limite qu'il est peut-être nécessaire d'atteindre, faute d'espace, mais qu'on doit tendre à abaisser, afin de mieux garantir l'épuration.

La commission tient essentiellement, dit le rapport, à séparer deux questions que l'on confond presque toujours : la *simple épuration des eaux d'égout* et l'*utilisation agricole* des principes fertilisants qu'elles renferment ; l'utilisation agricole des eaux d'égout *exige* de *dix à vingt fois* plus de surface que l'épuration (1). Il est impossible, ajoutait l'éminent rapporteur, M. Th. Schlœsing, que Paris entreprenne d'utiliser immédiatement la totalité de ses eaux résiduaires ; Paris doit *commencer* par installer l'*épuration*.

C'est pour avoir méconnu entièrement ce principe que le service des eaux a développé depuis trente ans, au lieu de la supprimer, l'infection du fleuve et de ses rives. Si, en effet, on oppose l'état de choses actuel aux conclusions de la commission de 1875, dictées par

1. L'expérience à montré que ces chiffres sont trop élevés et peuvent être notablement réduits, comme nous le verrons plus loin.

l'étude approfondie à laquelle s'étaient livrés des savants, des agronomes et des praticiens d'une compétence incontestable, que constate-t-on ? On reconnaît aisément que, malgré les millions dépensés et les *satisfecit* qu'il n'hésite pas, à l'occasion, à se décerner, le service des eaux n'a en aucune façon réalisé le programme imposé par les décisions de la commission du conseil des ponts et chaussées et du conseil d'hygiène publique. La désinfection de la Seine, et par suite celle de la banlieue, déclarée « urgente » il y a plus d'un quart de siècle, est moins avancée que jamais. Loin de disparaître par la création et l'exploitation *irrationnelle* des champs d'épandage d'une superficie radicalement insuffisante, l'infection n'a fait que croître par les infiltrations d'eaux non épurées venant s'ajouter au déversement continu dans la Seine de volumes d'eaux d'égout, énormes à certains moments de l'année. Les plaintes unanimes et croissantes des riverains de la Seine, celles des voisins immédiats des champs d'épandage, dont les puits sont empoisonnés par les déjections de la capitale, en témoignent hautement. La villégiature sur les bords de le Seine et de la basse Oise est devenue impossible.

Il n'est pas jusqu'aux concessionnaires de terrains irrigués, et non des moindres, qui ne joignent leurs doléances, accompagnées de réclamations d'indemnités, à celles du public : devenu marécageux par des déversements abusifs d'eaux d'égout, l'état des sols où ils espéraient créer de vastes prairies rend impossibles leur culture et leur exploitation.

Ces faits sont de notoriété publique ; y insister est superflu. Mieux vaut préciser les causes, faciles à trouver, de la prolongation d'un état de choses si préjudiciable et chercher à suggérer les remèdes à une situation qui ne saurait être plus longtemps tolérée, qu'explique sans la justifier — pourquoi ne pas le dire ? — la méconnaissance, sans doute inconsciente, des vrais principes d'assainissement des villes, chez ceux qui ont le devoir d'y veiller.

L'erreur capitale, source de tout le mal, erreur dans laquelle on a persévéré malgré tous les avis compétents, consiste dans l'entêtement apporté à vouloir confondre, contrairement à l'avis de la commission, l'*épuration* avec l'*utilisation agricole* des eaux, dans des conditions que condamnaient irrémédiablement, à l'avance, le rap-

port du volume colossal d'eaux d'égout à répandre, avec l'exiguïté des champs d'épandage.

Prescrire l'épandage, par année, de 245 millions de mètres cubes d'eaux d'égout sur 5 000 hectares de terre, pour la plus grande partie *en culture,* avec la double prétention d'épurer cette formidable masse de liquide et d'utiliser au profit de la végétation l'énorme apport de principes fertilisants qu'elle représente, c'est aller à l'encontre des données les plus certaines de la science et de l'expérience admises dans tous les pays où l'on pratique le traitement du sewage par le sol.

Dans les conditions où le service des eaux poursuit cette utopie, condamnée à Londres, à Berlin et ailleurs, les résultats désastreux que l'on constate depuis nombre d'années et qui vont en s'accentuant étaient immanquables : — continuation de l'empoisonnement direct de la Seine par le déversement dans le fleuve de l'excédent des eaux d'égout qu'on est dans l'impossibilité, quoi qu'on en ait, de répandre dans les champs d'irrigation ; — sursaturation de ces derniers par les 245 millions de mètres cubes qu'ils reçoivent annuellement et refusent d'absorber ; — contamination des couches profondes du sol ; — infiltration d'eaux non épurées dans les puits et dans les parties riveraines de la Seine, de l'Oise, etc. ; — insuccès des cultures dans de nombreuses régions des champs d'épandage transformés en marécages ; — viciation de l'atmosphère dans le voisinage de ces cloaques, etc., etc.

Résultat final : l'épuration n'est pas réalisée et l'utilisation agricole, tant vantée, est limitée à de faibles surfaces de terrain, si tant est qu'on puisse donner le nom d'utilisation, au sens réel du mot, au gaspillage des matières fertilisantes répandues sur quelques centaines d'hectares, qui reçoivent huit à dix fois autant d'azote, d'acide phosphorique et de potasse que la végétation qu'ils portent en peut consommer (1).

1. « Dans la plaine de Gennevilliers, les 40 000 mètres cubes d'eau d'égout déversés en moyenne par hectare et par an correspondent à 1 800 kilogr. d'azote, 720 kilogr. d'acide phosphorique et 1 480 kilogr. de potasse ; ces quantités représentent un apport d'environ 300 000 kilogr. de fumier de ferme. » (A. Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées, *Hydraulique agricole et génie rural,* t. II, p. 273. Paris, 1892.) On sait qu'une fumure annuelle de 30 000 kilogr. de fumier représente une très forte fumure.



A un mal dont les causes sont connues, il est rare, dans l'ordre de choses qui nous occupe, qu'on ne puisse apporter de remède. Étant surabondamment démontrée la nécessité, proclamée depuis trente ans, de mettre fin à l'infection devenue légendaire du beau fleuve qui traverse la capitale et des agglomérations suburbaines dont il baigne les rives, il faut qu'enfin les services responsables de la salubrité publique se décident, coûte que coûte, à donner satisfaction aux justes et trop patientes revendications de la population parisienne.

L'opinion publique, éclairée sur la nature des moyens à mettre en œuvre; convaincue d'autre part, lorsqu'elle sera en mesure de l'apprécier, de l'efficacité des procédés dont l'application, à des villes comparables à Paris par l'importance de leur population, a résolu le problème capital de leur assainissement, l'opinion publique, disons-nous, donnera sans nul doute son approbation aux mesures, financières et autres, nécessaires pour faire aboutir enfin le programme hygiénique de la commission de 1875.

Étant données les dépenses énormes engagées jusqu'ici en vue de l'assainissement de la Seine, avec le peu de succès que nous avons constaté, il importe, pour éviter de grever *inutilement* le budget des contribuables de nouvelles charges trop lourdes, d'examiner les différents systèmes adoptés à l'étranger, de discuter et de comparer entre eux les avantages hygiéniques et économiques qu'ils présentent, et de signaler à l'attention de qui de droit les solutions d'un problème dont l'ajournement plus longtemps prolongé serait un véritable défi à l'opinion publique.

C'est dans cette pensée que je crois utile de résumer les éléments d'appréciation qui résultent de l'étude à laquelle je me suis livré, depuis plusieurs mois, de l'état de la question en Angleterre et en Allemagne.

VIII. — SOLUTIONS POSSIBLES DE LA DÉSINFECTION DE LA SEINE ET DE L'ASSAINISSEMENT DU FLEUVE ET DE LA BANLIEUE

Comment remédier d'une façon *définitive* à l'infection de la Seine et de ses affluents, à celle de la banlieue de Paris, causées par le

déversement annuel de *deux cent quarante-cinq millions* de mètres cubes d'eaux souillées, partie directement dans le fleuve, partie sur une surface de champs d'épandage aussi radicalement insuffisante, comme étendue, que mal adaptée à l'épuration de ce colossal volume de liquide [1] ?

Loin de moi la folle prétention de tracer un programme à un service que ses insuccès trentenaires ne semblent pas encore avoir convaincu qu'on peut trouver, chez les nations voisines, des enseignements utiles pour la solution d'un problème hygiénique, que les centaines de millions dépensés et vingt-cinq années de tâtonnements infructueux ont été impuissants à réaliser.

Il m'est cependant loisible, je pense, d'examiner, en en précisant les conditions, quelques-unes des solutions applicables à la capitale que suggère l'étude attentive des résultats acquis à l'étranger.

Trois solutions, différentes au point de vue de l'exécution, peuvent être envisagées. Deux d'entre elles aboutiraient, à la fois, à l'épuration des eaux d'égout et à leur utilisation agricole ; l'autre viserait l'épuration seule et conduirait également à l'assainissement du fleuve et de ses rives.

1° Extension des champs d'épandage sur la surface nécessaire pour assurer l'épuration des eaux d'égout et leur utilisation réelle par certaines cultures, notamment par la création de prairies ;

2° Substitution du traitement bactériologique des eaux d'égout à leur épandage direct sur le sol ;

3° Système mixte, consistant d'une part à réduire le volume des eaux d'épandage, en le limitant à des surfaces suffisantes pour en assurer l'épuration complète et permettre leur utilisation agricole ; de l'autre, à épurer le volume d'eau complémentaire des 245 millions de mètres cubes, par l'installation de lits bactériens.

Quelques remarques préliminaires sont nécessaires pour préciser

---

1. Chaque hectare des champs d'épandage reçoit annuellement de 42 000 à 45 000 mètres cubes d'eau d'égout (117 mètres cubes par jour moyen). Cela correspond à une couche de $4^m,20$ à $4^m,50$ de hauteur, à laquelle vient s'ajouter la pluie ($0^m,56$ en moyenne), soit, au total, une couche de 5 mètres environ d'épaisseur ! Il s'agit donc, ici, non d'*irrigation*, mais d'une véritable *inondation*, qu'on intitule, pour comble d'ironie, « utilisation agricole des eaux d'égout ».



les conditions techniques de l'application de ces solutions et décider de la préférence à accorder à celle qui répondrait le mieux au double point de vue hygiénique et économique.

Paris compte 2 660 000 habitants: la consommation d'eau est de 256 litres (1904) par jour et par tête [1], et le volume des eaux d'égout s'élève à 245 millions de mètres cubes par an. Quelle est la surface minimum de terrain pouvant épurer cette masse d'eau, en admettant que les champs d'épandage soient rationnellement cultivés ? C'est le premier point à établir.

Pour la fixation de la dimension des champs d'épandage, réglementée en Angleterre par l'act du Local Government Board de 1900, à Berlin par la municipalité, on fait entrer en ligne de compte trois éléments d'appréciation : le chiffre de la population, le volume approximatif d'eau d'égout afférent par jour à une tête d'habitant, et le nombre de mètres cubes d'eaux souillées qu'on peut, d'après l'expérience acquise, répandre utilement par année, d'une façon intermittente, sur un hectare de terre cultivé, rendu apte (c'est l'expression consacrée) par des opérations préalables (défoncement, nivellement, drainage) à l'épuration du sewage.

Les bases prescrites en Angleterre pour l'épandage direct sur le sol (auquel d'ailleurs les villes renoncent complètement pour les installations nouvelles) [2] sont les suivantes :

1 hectare de champ (apte), par 370 habitants ;

Un déversement maximun sur 1 hectare, par jour moyen, de 37 mètres cubes de sewage ($3^l,7$ par mètre carré), quantité correspondant à 100 litres d'eau d'égout, par habitant et par jour.

A Berlin (2 millions d'habitants), où le sol diffère essentiellement des sols anglais, la municipalité a fixé, pour l'installation de ces domaines aujourd'hui en pleine prospérité, les règles suivantes :

1 hectare par 250 habitants ;

1. Cette quantité dans laquelle, à coup sûr, il faut faire une large part au gaspillage, dépasse de beaucoup celle de presque toutes les villes d'Europe. A Londres la consommation n'atteint pas 150 litres par tête ; à Berlin elle est inférieure à 100 litres (87 en moyenne).

2. Voir l'étude sur l'*Épuration des eaux d'égout et la purification des eaux potables*, in-4°, à la librairie du *Temps*.



Epandage intermittent de 30 mètres cubes d'eaux d'égout par hectare et par jour moyens.

D'après ces données, on déverserait, annuellement, sur 1 hectare de terre : 13 505 mètres cubes en Angleterre ; 11 000 mètres cubes dans les domaines municipaux de Berlin.

En admettant la base anglaise, pour l'épuration, avec utilisation agricole, des 245 millions de mètres cubes d'eaux d'égout de Paris (13 500 mètres cubes à l'hectare), il faudrait porter à 18 150 hectares la surface des terres qui les recevraient, c'est-à-dire augmenter de 13 000 hectares la surface actuelle des champs d'épandage. En adoptant la base de Berlin (11 000 mètres cubes à l'hectare), c'est à 22 270 hectares qu'on devrait étendre l'épandage des eaux d'égout de Paris.

Si profitable à la fertilisation des terres pauvres de Champagne ou de Sologne que serait l'adduction des eaux d'égout de Paris, à laquelle on eût mieux fait, dans le principe, d'appliquer les millions dépensés pour créer les marécages de Gennevilliers, d'Achères et de Triel, cette opération entraînerait aujourd'hui des dépenses supplémentaires auxquelles le service des eaux ne semble guère disposé. C'est donc dans une autre direction que nous chercherons la solution du problème.

Épuration par lits bactériens. — Le traitement bactériologique des eaux d'égout prend chaque jour plus d'extension en Angleterre et commence à se répandre en Allemagne. Le Local Government Board a fixé, en 1900, les conditions d'installation et de fonctionnement qu'il doit remplir. Laissant de coté les systèmes de lits de contact et des septic tanks, appelés dans l'avenir, suivant probabilité, à faire place partout aux lits aérobiques avec sprinklers, dont la supériorité est, comme je l'ai dit, reconnue par les hygiénistes anglais, je ne m'occuperai que de ce système.

Les premières prescriptions légales concernant le traitement bactériologique du sewage ont admis, pour l'épuration de 1 mètre cube d'eau, une surface de 1 mètre carré, correspondant à un volume de 5 mètres cubes de matière filtrante (sable, carboferrite, coke, etc.) disposés sur une hauteur de 1^{m},80. Mais on a constaté depuis que,

en réalité, le système Candy, que j'ai décrit après l'avoir étudié à Darley-Abbey, Chester, Reigate, etc., permet d'épurer, en vingt-quatre heures, par mètre carré, 3 mètres cubes d'eau. Par un excès de prudence, l'act du Board de 1903 a prescrit, aux municipalités qui appliquent les différents systèmes bactériologiques, la prévision d'un champ d'épandage correspondant à 4 mètres carrés de surface par habitant (étant admis une production de 100 litres d'eau d'égout par tête et par jour). Si l'on en juge d'après les résultats de la filtration double du système Candy, constatée jusqu'ici à Darley-Abbey, Reigate, etc., les champs d'épandage supplémentaires n'auront pas à fonctionner, l'épuration étant si complète que l'effluent peut être déversé directement dans les cours d'eau, sans subir de nouveau traitement par le sol.

Voyons où conduirait l'application de lits bactériens à l'épuration de la totalité des eaux d'égout de Paris. A Chester (population de 50 000 habitants), les lits bactériens installés sur les indications du major Tulloch occupent une surface totale de *trente-trois ares* [$0^m,066$ par habitant]; le champ supplémentaire d'épuration prévu aurait une superficie de 22 hectares.

Calculée sur ces bases, c'est-à-dire d'après le *chiffre* de la population, l'installation des lits bactériens qui remplaceraient à Paris les 5 300 hectares des champs d'épandage n'occuperaient qu'une surface de *dix-sept hectares et demi* ($17^{ha},56$).

Mais, dans les calculs, il y a lieu de tenir compte de l'énorme différence des quantités d'eau consommées à Paris et à Chester. Paris consomme 683 000 mètres cubes d'eau par jour, soit 256 litres par habitant, chiffre deux fois et demie plus élevé que celui qui sert de base en Angleterre pour l'établissement des lits de Candy à sprinklers. Il faut donc, pour la capitale, calculer l'étendue des surfaces épuratrices, non d'après le nombre des habitants, mais d'après le volume des eaux à purifier. L'épuration des 245 millions de sewage de Paris, à raison de 1 085 litres par mètre carré et par an (3 mètres cubes par jour), exigerait une surface de lits bactériens égale à $22^{ha},375$.

Malgré la faiblesse de cette surface, si on la compare aux 5 300 hectares des champs d'épandage si défectueux, il y a lieu de craindre qu'aucun de nos contemporains n'assiste à une transformation aussi

radicale du régime actuel, car elle conduirait à abandonner complètement les champs d'épandage, et, par conséquent, à renoncer à leur utilisation pour la culture.

Je suis alors amené à envisager la solution mixte dont je voudrais pouvoir espérer la réalisation. Par son adoption, on aboutirait au double objectif de l'épuration et de l'utilisation agricole rationnelle des eaux d'égout, objectif que n'ont pas permis d'atteindre trente années d'infructueux essais. Examinons donc cette dernière solution.

Je suppose que sur les 5 300 hectares de champs d'épandage, on en mette 4 000 en parfait état d'adaptation à l'épuration (nivellement, drainage, etc.), et qu'on y déverse le volume d'eau reconnu, en Angleterre, compatible avec les nécessités de la végétation, soit 13 500 mètres cubes par hectare et par an. On épurerait ainsi, en les utilisant pour la culture de prairies et de quelques autres récoltes, 54 millions de mètres cubes d'eaux d'égout. Resteraient 191 millions de mètres cubes, à traiter par les lits bactériens. Un mètre carré de lit Candy épurant, comme à Chester et à Darley-Abbey, 3 mètres cubes par vingt-quatre heures, soit 1 095 mètres cubes par an, l'épuration de 191 millions de mètres cubes nécessiterait une surface filtrante de 17^{ha},50, en nombre rond.

En joignant aux lits bactériens un champ d'épandage, destiné dans des cas exceptionnels, peu probables, à compléter l'épuration bactérienne par une seconde filtration au travers du sol, et en adoptant, pour fixer la superficie de ce champ, la base anglaise — 4 mètres carrés par habitant — on réserverait pour cette destination 1 064 hectares.

En récapitulant les surfaces nécessaires à l'épuration complète des 245 millions d'eaux d'égout de Paris, dont il ne serait plus déversé *aucune quantité* dans la Seine, on arrive au total suivant :

Arrosés et cultivés	4 000	hectares
Lits bactériens	17,5	—
En réserve.	1 064	—
Soit.	5 081,5 hectares,	

chiffre inférieur à la surface actuelle des champs d'épandage qui

maintiennent et augmentent chaque jour l'infection de la Seine, de la basse Oise et des territoires de la banlieue sur un long parcours.

D'après les nombreux devis que j'ai eus entre les mains, le coût de l'établissement du mètre carré de lit bactérien paraît osciller entre 40 et 50 fr. : la dépense s'élèverait donc, de ce chef, à environ 9 ou 10 millions de francs. L'installation des pompes élévatoires et des canaux de distribution aujourd'hui existants pourrait être utilisée.

Il va sans dire que les éléments me manquent pour évaluer la dépense totale nécessaire à la réalisation de ce programme mixte d'assainissement, mais il semble que la question économique n'est pas de nature à faire abandonner, sans examen sérieux, une solution qui mettrait fin à une situation de plus en plus fâcheuse pour la salubrité publique à Paris et en aval de la capitale. Il faut songer, d'ailleurs, à la plus-value résultant de la mise en valeur *réelle* de 4 000 hectares aux portes de la ville de Paris, qui trouverait là une source notable de profits, venant en déduction des dépenses effectuées.

En supposant le prix minime de location de 100 fr. à l'hectare, l'affermage de 4 000 hectares, en bonne condition de culture, représenterait une annuité de 400 000 fr.

IX. — LES PROJETS DU CONSEIL GÉNÉRAL POUR LA DÉSINFECTION DE LA SEINE ET DE LA BANLIEUE

Autrefois, les communes du département de la Seine étaient exclusivement alimentées par de l'eau puisée directement en Seine et en Marne. Actuellement, les villes comprises dans la boucle du fleuve : Gennevilliers, Asnières, Colombes, Courbevoie et Nanterre, sont encore à ce déplorable régime.

L'eau puisée au barrage de Suresnes et distribuée dans la presqu'île de Gennevilliers n'est qu'une boue infecte, insalubre et dangereuse pour la santé des consommateurs. La raison en est simple : les eaux d'égout de toute la banlieue parisienne sont évacuées en Seine et une très notable proportion des eaux usées de la ville vient s'y ajouter journellement. Prochainement, dit-on, les villes que nous venons de citer recevront, comme les autres communes de la

Seine, de l'eau filtrée sur sable. Sans s'arrêter pour l'instant à la valeur relative de ce moyen d'épuration, il est aisé de conclure que le problème imposé à la ville il y a trente ans et resté presque complètement à l'état de lettre morte — la désinfection de la Seine — demeure le nœud gordien de la situation. Quoi en effet de plus irrationnel que d'empoisonner régulièrement le fleuve et de chercher ensuite à le purifier? L'idée si malencontreusement appliquée (nous l'avons surabondamment établi, je pense) de création de champs d'épandage absolument insuffisants et inadaptés au but qu'on se proposait, a laissé intact le problème de la désinfection de la Seine. Au début, dans son ignorance regrettable de la question, le service des eaux avait pensé que les champs d'épandage créés par lui, non seulement pourraient recevoir et épurer les eaux usées de la capitale, mais qu'il serait possible, en outre, d'y déverser celles de la banlieue.

Combien il a fallu en rabattre, nos lecteurs le savent.

L'épandage qui, rationnellement pratiqué, pouvait conduire à la fertilisation de vastes territoires en Champagne, en Sologne, etc., a abouti, dans les conditions où il s'effectue, aux détestables conséquences que l'on sait. Pour acquérir des surfaces de terrain beaucoup trop faibles et y répandre des volumes d'eau beaucoup trop grands, on a dépensé des centaines de millions, sans arriver, tant s'en faut, à débarrasser Paris de la totalité de ses eaux d'égout, mais en réussissant d'une manière parfaite à empoisonner le fleuve et la banlieue.

Par une initiative à laquelle on ne saurait trop applaudir, le conseil général de la Seine se préoccupe de chercher une solution de la question ailleurs que dans l'épandage *direct* des eaux d'égout sur le sol. Cette solution n'est autre que celle que nous préconisons : l'épuration par voie bactériologique des eaux résiduaires. Le *Temps* ne peut que se réjouir de la consécration donnée par le conseil général, dont je vais indiquer les décisions, à la campagne qu'il a engagée pour amener le service des eaux à renoncer aux errements funestes à la salubrité publique dans lesquels il s'est entêté depuis un quart de siècle.

L'assainissement de la Seine, pour l'exécution duquel on a inscrit dans l'emprunt départemental de 1904 un crédit de 10500000 fr., était décidé depuis 1893. Au mois de janvier dernier, le préfet de la

Seine ayant soumis au conseil général un projet d'épuration des eaux d'égout par le double système des fosses septiques et des lits bactériens, une délégation de la commission départementale des eaux et de l'assainissement se rendit à Lille pour y étudier sur place l'installation que le savant directeur de l'institut Pasteur de Lille, M. Calmette, a consacrée à l'étude de ces procédés. Cette commission rapporta de sa visite une impression très favorable. Il y a quelques semaines, plusieurs membres du conseil général, auxquels s'étaient joints MM. Defrance, directeur des affaires départementales; Hétier, inspecteur général; Bechmann, alors chef du service technique des eaux et de l'assainissement (1), et Calmette, directeur de l'institut Pasteur de Lille, se sont rendus en Angleterre; ils ont visité un certain nombre d'installations d'épuration des eaux d'égout par différents systèmes : à Hampton, Barking, Leeds, Manchester, Birmingham, Chester, et, si nous sommes bien informé, ils ont été confirmés par ces visites dans l'impression favorable que l'examen des procédés bactériologiques expérimentés à Lille leur avait produite. C'est à la suite de ces visites qu'a été arrêté le programme du conseil général.

D'après le projet de 1893, l'assainissement de la Seine comprend trois opérations distinctes : l'assainissement du fleuve en amont de Paris, l'assainissement dans la région-aval comprise entre les fortifications et Clichy, enfin l'assainissement depuis Clichy jusqu'au delà de Saint-Denis.

Les eaux d'amont devraient être amenées à quatre usines, à Alfortville, Créteil, Choisy-le-Roi, qui les auraient évacuées sur les plaines avoisinantes de Créteil et de Ville-Évrard.

Une partie des eaux d'aval (entre les fortifications et Clichy) pourra, dès cette année, grâce aux usines nouvelles de Suresnes et de Courbevoie, être refoulée vers l'usine de Colombes qui les évacuera sur les terrains actuels d'épandage. L'autre partie des eaux d'aval (au delà de Clichy) devra être conduite à une usine qu'on construirait à Saint-Denis et qui enverrait ses eaux sur les terrains avoisinant Aulnay-lès-Bondy.

1. M. Bechmann vient d'être, sur sa demande, relevé de ses fonctions et remplacé par M. Colmet-Daage.



C'est ainsi que l'on se proposait de résoudre la question de l'évacuation des eaux résiduaires dans la zone intermédiaire; mais elle reste entière pour les eaux d'amont et pour une partie des eaux d'aval. Le conseil général a pu se convaincre que le programme auquel on s'était rallié lors de l'établissement de l'avant-projet de 1893 est tout à fait insuffisant et que sa réalisation ne donnerait que de mauvais résultats.

En 1893, on avait compté sur un débit de 200 000 mètres cubes d'eaux d'égout par jour, pour tout le département; on se rend compte actuellement que le volume d'eaux résiduaires dépassera, s'il ne l'atteint déjà, à bref délai, 300 000 mètres cubes. On reconnaît enfin qu'il serait à la fois odieux et dangereux pour la salubrité d'entourer Paris d'une vaste ceinture de champs d'épandage appelés à devenir des marécages comme ceux d'Achères, de Gennevilliers, etc. On convient aussi, paraît-il, en haut lieu, qu'il ne saurait être permis d'accroître encore l'infection, en augmentant l'inondation des champs actuels en y déversant de nouvelles masses d'eaux.

La conclusion qui s'impose est la nécessité urgente d'une solution autre que celle vainement cherchée depuis trente ans dans les noyades d'Achères et de Gennevilliers.

La décision toute récente du conseil général va faire entrer la question dans une ère nouvelle, celle de l'expérimentation des procédés d'épuration par voie bactériologique (septic tanks et lits bactériens). « L'étude des procédés anglais permet, dit le rapport officiel, de conclure à la possibilité d'une épuration suffisante pour donner de l'eau imputrescible dans laquelle les poissons peuvent vivre à leur aise. » Cette eau ainsi purifiée pourrait dès lors être rejetée à la Seine sans aucun inconvénient.

C'est le système que j'ai préconisé.

Je n'ai, pour ma part, aucun doute sur le succès des procédés d'épuration par les lits aérobiques que j'ai décrits (v. plus haut), au retour de mon excursion d'étude en Angleterre. Je me réjouis, plus que personne, de la détermination prise par le conseil général de les soumettre à une vérification expérimentale entourée, il faut l'espérer, de toutes les précautions nécessaires pour la rendre indiscutable et convaincre de leur erreur les propagateurs, quand même, de l'in-

fection du fleuve et de la banlieue par l'abominable régime des champs d'épandage actuels.

Les essais vont porter sur un volume quotidien de 10 800 mètres cubes d'eaux usées provenant d'Ivry et qui sont actuellement déversées directement en Seine par l'égout qui débouche au pont de Conflans. Une usine élévatoire électrique va être construite sur le port d'Ivry; les eaux d'égout y seront amenées par un embranchement spécial et, de là, refoulées vers les installations d'essai situées à quelques kilomètres, dans une plaine à peu près déserte, puis ramenées, après leur épuration, à la Seine.

La dépense autorisée par le conseil général sera de 1 300 000 fr.; on admet qu'elle représente, tous frais d'intérêt, amortissement et entretien des appareils compris, 0 fr. 0329 par mètre cube d'eau épurée. L'évacuation des eaux d'égout sur les terrains d'épandage de la ville de Paris coûterait (dit-on) environ 0 fr. 04. Le système bactériologique joindrait d'après cela, aux avantages concernant l'hygiène et la salubrité, l'avantage de l'économie.

Il va de soi, je pense, que le conseil général entend mettre en présence les différents systèmes qui ont donné en Angleterre les meilleurs résultats, afin de choisir, parmi eux, ceux qui épureront le plus parfaitement et le plus économiquement les eaux résiduaires.

Lorsque le conseil général sera arrivé, à la suite de ces essais, à étendre à tout le département le mode d'épuration auquel l'expérience aura assigné le premier rang, il ne restera plus qu'à le faire adopter par la ville de Paris pour mettre fin, une bonne fois, à l'empoisonnement du fleuve et de ses rives.

X. — CONCOURS POUR L'ÉPURATION DES EAUX POTABLES DESTINÉES A L'ALIMENTATION

Conformément à une délibération récente du conseil municipal, un concours de filtres à grand débit a été ouvert le 10 mars 1905, et le dernier délai assigné à ceux qui désiraient y prendre part a été fixé, par le préfet de la Seine, au 15 mai.

Il est intéressant pour la population parisienne — appelée, il faut

l'espérer, à bénéficier, dans un temps qu'on voudrait entrevoir prochain, du résultat de ce concours — de connaître les conditions dans lesquelles il aura lieu et les garanties qu'il peut offrir. Il lui importe aussi d'avoir une idée générale des principaux systèmes d'épuration des eaux destinées à l'alimentation, appliqués jusqu'ici dans quelques grandes villes d'Europe et des pays hors du continent.

Au début de cette étude sur le régime de l'eau à Paris, nous n'avons fait qu'effleurer le problème, d'une importance capitale pour la santé des hommes, de l'alimentation en eau potable et des solutions à lui donner, suivant l'origine et la nature des eaux. Nous y reviendrons après avoir exposé et discuté le programme du concours arrêté par la préfecture de la Seine dont nous allons passer en revue les principales conditions.

L'article 2 de ce programme porte que « les personnes qui voudront concourir devront envoyer tous les documents, dossiers et autres pièces destinés à faire connaître le système qu'elles préconisent, les résultats qu'on peut en attendre et la dépense que paraissent nécessiter son premier établissement et son fonctionnement pour une quantité déterminée ».

Dans l'article 3, il est dit que la commission nommée par le préfet de la Seine n'admettra à l'expérimentation que les systèmes qui pourraient réaliser, sans exagération de dépense, l'épuration de 100 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures au minimum. Tous les concurrents auront à purifier la même eau, que la commission aura la faculté de contaminer à l'aide de cultures microbiennes. Ils devront rendre cette eau au niveau même où elle leur aura été fournie.

L'article 4 indique, trop vaguement à notre avis, les conditions que l'eau épurée devra remplir suivant le mode de traitement auquel on l'aura soumise. Si ce traitement consiste dans la stérilisation par voie chimique, outre les caractères généraux d'une bonne eau potable, il est dit qu'elle ne devra pas renfermer plus de cinq bactéries cultivables, aucune d'elles ne devant appartenir à des espèces pathogènes. Si l'eau est purifiée par filtration, en dehors des caractères généraux de pureté qu'on exigera de l'eau stérilisée, celle-ci ne devra pas contenir plus de cinquante bactéries non pathogènes

par centimètre cube, en pleine marche des appareils filtrants. Pourquoi cinq bactéries dans un cas, cinquante dans l'autre ? Mystère ! Les eaux épurées devront être exemptes de bacilles *coli*.

Tels sont les points essentiels des conditions du concours.

Il y a lieu de penser que les concurrents ne trouveront pas suffisantes les indications qui précèdent. Par son titre même, le concours semblerait viser exclusivement les eaux de sources. Il devra, ce nous semble, embrasser également le traitement des eaux de rivières (Seine, Marne). Il en est peut-être ainsi, mais il eût été bon de préciser ce point, le programme ne faisant pas connaître l'origine des eaux à épurer. S'il s'agit des eaux dites de sources qui alimentent Paris (Avre, Dhuis, etc.), est-ce au lieu de captage ou dans les réservoirs de la Ville que les prises d'eau à purifier par les différents systèmes seront établies ? S'il est question d'épurer, pour les rendre potables, les eaux de la Seine et de la Marne, où seront installés les appareils de purification ? Sur les fleuves mêmes ou près des réservoirs ? Ces questions ont d'autant plus d'importance pour les concurrents que le programme est muet en ce qui regarde les procédés mécaniques d'amenée ou d'extraction des eaux à traiter. La Ville entend-elle fournir les pompes ou autres engins nécessaires, ou laisse-t-elle leur installation aux soins et à la charge des concurrents ? Il importe que ceux-ci soient clairement édifiés à ce sujet. En effet, les dispositifs qu'ils auront à réaliser dépendent en grande partie des conditions locales où ils seront placés, étant obligés, nous l'avons vu plus haut, de rendre les eaux épurées au niveau où ils les auront prises.

En leur demandant d'indiquer la dépense probable que nécessiteront le premier établissement et le fonctionnement de leur système, il eût été nécessaire de préciser la part que l'administration entend prendre dans l'organisation des expériences et celle qui incombera aux concurrents seuls. Le programme dit bien (art. 3) que la dépense sera supportée par la Ville jusqu'à concurrence des trois cinquièmes, le surplus demeurant à la charge des intéressés ; mais il eût été nécessaire de préciser la nature des dépenses (pompes aspirantes ou foulantes, terrain, traitement, etc.) qui incombera à chacune des parties. Suivant que devront ou non figurer les dépenses, indépendantes du système lui-même d'épuration, dans les calculs du

prix de revient du mètre cube d'eau épurée, celui-ci variera dans une limite assez étendue, et pour indiquer à l'avance le prix de revient dans la soumission que la Ville demande aux concurrents, il était indispensable de leur fournir tous les éléments d'appréciation.

En 1894, la préfecture de la Seine avait ouvert un concours pour l'épuration des *eaux de rivières destinées à la boisson*. J'ignore quels ont été les résultats, mais il semble qu'en substituant aux mots *eaux de rivières* le terme *épuration des eaux potables*, le programme de 1905 comprend à la fois les eaux de sources et celles des fleuves. Il y a lieu de penser que cette interprétation des termes vagues du programme de 1905 est la bonne. En 1894, sous le prétexte que les eaux de la Vanne, de la Dhuis et de l'Avre étaient des eaux de sources, l'administration les considérait comme pures et ne songeait sans doute pas à les soumettre à une épuration quelconque, en vue d'éliminer les causes d'impuretés (bactéries nocives, détritus de matières) apportées par les infiltrations du sol superficiel, par les petits affluents de ces rivières, en amont du captage, souillés par des déjections animales, etc. Il n'était donc question à cette date que de l'épuration de l'eau de Seine et de Marne, nécessaire pour compléter l'approvisionnement en eau potable de la ville de Paris.

L'expérience a montré depuis que d'une façon permanente, et, à certains moments, d'une manière inquiétante, les eaux de l'Avre, de la Dhuis, de la Vanne arrivent souillées par des microbes et autres impuretés organiques dans les bassins d'alimentation. On a très justement fait observer qu'aucune précaution, aucune surveillance ne pouvaient s'exercer sur le long parcours de ces rivières et moins encore sur l'énorme superficie de terrains d'où s'écoulent les eaux qui les alimentent. Les hygiénistes et les administrateurs avisés ont proclamé la nécessité d'épurer les eaux dites de sources, au point même de leur introduction dans les canaux d'alimentation de la population parisienne. Le concours qui vient de s'ouvrir doit, sans aucun doute, viser cette épuration; mais, d'autre part, la commission des eaux du conseil municipal a reconnu la nécessité d'augmenter le volume d'eau de Seine et de Marne purifiée en vue de l'alimentation. On peut donc penser que le concours actuel vise à la fois la purification des eaux

de sources et de celles de rivières ; il est regrettable que le programme ne soit pas explicite à ce sujet.

Par arrêté du préfet de la Seine, la commission chargée de déterminer le choix des systèmes qui seront jugés susceptibles d'application pratique vient d'être constituée comme suit :

MM.

Le préfet de la Seine, *président.*

Le Dr Brousse, président du conseil municipal.

Moreau, Rendu et Navarre, conseillers.

Dr Roux, directeur de l'institut Pasteur.

Schlœsing et Michel Lévy, du conseil d'hygiène.

Dr Calmette, directeur de l'institut Pasteur de Lille.

De Pontich, directeur administratif des travaux de Paris.

Bechmann, chef du service des eaux et de l'assainissement.

Babinet, ingénieur en chef du service des adductions d'eaux nouvelles.

Dr A. Martin, ingénieur général du service de l'assainissement.

Albert Lévy, chef du service chimique à l'observatoire de Montsouris.

Dr Miquel, chef du service micrographique à l'observatoire de Montsouris.

Zaleski, chef du bureau des eaux, canaux et égouts, *secrétaire.*

La composition de la commission assure la compétence et l'impartialité des décisions qui seront prises. Tous les intéressés dans la marche des expériences et dans leurs résultats, les concurrents comme le public parisien, sont en droit d'attendre que la plus grande publicité soit donnée, tant au point de vue hygiénique que sous le rapport économique, aux résultats constatés et contrôlés de l'application des différents systèmes.

Les contribuables n'ont jamais été renseignés sur le chiffre des sommes engouffrées dans la création et le fonctionnement des marécages d'Achères et de Gennevilliers ; en revanche, ils connaissent les odieux résultats de l'infection de la Seine et de la banlieue et en réclament énergiquement la cessation. Ils peuvent, je crois, l'attendre des expériences provoquées par le conseil général en vue de l'épu-

ration des eaux d'égout dont nous avons exposé les grandes lignes dans le paragraphe VIII de cette étude.

Aujourd'hui, ne serait-ce qu'en compensation du mystère dont le service des eaux a entouré ses déplorables agissements dans l'épandage des eaux d'égout, les contribuables devront être édifiés sur les essais qui vont être tentés pour déterminer le choix par la Ville d'un ou de plusieurs systèmes de purification des eaux potables, et des conséquences financières qu'entraînera la réalisation du problème, tant pour la Ville que pour les consommateurs. Nous ne doutons pas que la préfecture de la Seine ne leur donne toute satisfaction à cet égard.

XI. — LES FERMES IRRIGUÉES DE LA VILLE DE BERLIN ; L'ALIMENTATION DE BERLIN EN EAU ET LES EAUX D'ÉGOUT ; BILAN DES EXPLOITATIONS : CRÉATION, RENDEMENT, DÉPENSES ET PRODUIT ; RÉSULTATS GÉNÉRAUX

Dans les chapitres qui précèdent sur le régime des eaux résiduaires de la capitale, j'ai surtout visé le côté hygiénique de la question. Sans préjuger des moyens auxquels s'arrêtera l'administration municipale pour mettre enfin un terme à la situation déplorable créée et entretenue depuis trente ans par le service des eaux, j'ai jugé utile d'examiner les principales combinaisons qui aboutiraient à l'assainissement de la Seine. J'ai notamment indiqué un programme dont l'exécution atteindrait le double but de l'épuration totale des eaux d'égout et de l'utilisation agricole d'une partie notable du sewage de Paris. Ce programme consisterait à appliquer les procédés bactériologiques à l'épuration du quart environ des eaux d'égout, ce qui ne nécessiterait qu'une surface minime de lits bactériens (22 à 23 hectares), et de déverser sur 4 000 hectares de champs d'épandage, bien adaptés et convenablement drainés, le reste des eaux résiduaires, qu'ils épureraient en les faisant servir à la culture de prairies et de quelques autres récoltes. Resterait disponible le cinquième environ des champs d'épandage actuels, soit un millier d'hectares,

qu'on utiliserait, au besoin, comme complément des installations de l'épuration bactériologique ou terrienne.

Comment ces 4 000 hectares devraient-ils être aménagés? Quelles sont les cultures à adopter? Quelle rémunération peut-on en attendre? Tels sont les points qui restent à examiner, en prenant, comme base d'appréciation et de discussion, les résultats obtenus dans les domaines municipaux de la ville de Berlin, depuis de longues années déjà soumis au régime d'irrigation par les eaux d'égout.

Comparable à Paris par le chiffre de sa population, la capitale de l'empire allemand a créé les champs d'épandage les plus vastes et les mieux compris qui existent sur le continent. On peut donc trouver dans l'étude de leur aménagement, de leur administration, de leur culture et de leur produit, des données utiles pour la transformation des marécages de Gennevilliers, d'Achères et de Pierrelaye.

Les documents abondent pour cette étude : les bulletins du conseil municipal de Berlin (*Magistrat*), les publications du docteur-professeur Backhaus, le distingué directeur des champs d'irrigation. La correspondance et les conversations que j'ai eues avec lui depuis quelques mois me permettent, bien que je n'aie pas visité récemment, à nouveau, les fermes d'épandage, d'en faire connaître à nos lecteurs les traits essentiels.

La ville de Berlin compte actuellement 2 millions d'habitants ; elle est alimentée en eau potable par les sources profondes des environs de Tegel et de Malchow, amenées à la surface par des pompes, et filtrées sur sable. La ville a consommé pour tous les services, dans l'exercice 1903-1904, 58 millions de mètres cubes, ce qui correspondait à une moyenne journalière par tête de $81^l,25$. Le tout-à-l'égout est complètement installé : il n'y a plus de fosses fixes ou mobiles, même dans les habitations les plus pauvres. Il n'existe pas de canal collecteur unique, mais un système radial, consistant en douze collecteurs qui vont isolément déverser leur contenu, par les canalisations qui les amènent, dans les sept exploitations agricoles situées à des distances de la capitale variant entre 10 et 30 kilomètres. Aucune quantité d'eau d'égout n'est déversée dans la Sprée qui traverse la ville et reçoit seulement les eaux de condensation

et de réfrigération de quelques usines. L'ensemble des conduites radiales de la ville atteint près de 1 000 kilomètres. Les faubourgs possèdent des canalisations spéciales et leurs propres champs d'épandage.

Les domaines agricoles de Berlin, au nombre de sept, ont actuellement ensemble une superficie de 15 722 hectares, dont 8 000 sont appropriés à l'irrigation. La surface de ces sept fermes à sewage varie un peu de l'une à l'autre; elle est environ, en moyenne, de 2 000 hectares par exploitation. Les surfaces qui n'ont pas encore reçu d'adaptation à l'épandage consistent en terres arables, prairies et forêts.

La création des fermes remonte à 1873, mais leur étendue a progressivement beaucoup augmenté.

Le volume quotidien des eaux d'égout est d'environ 240 000 mètres cubes, soit 88 millions de mètres cubes par an. L'acquisition des domaines municipaux ayant pour objet spécial l'épandage de ces eaux, il importe d'établir tout d'abord que leur superficie répond au double but de l'épuration et de l'utilisation agricole que s'est proposé la municipalité de Berlin. Les 8 000 hectares rendus aptes à l'irrigation reçoivent chacun, en moyenne, 30 mètres cubes d'eau par jour (11 000 mètres cubes par an), quantité que l'expérience a montrée en rapport avec celle que le sol peut recevoir sans inconvénient.

Ce chiffre paraît un maximum à la municipalité, qui est disposée à l'abaisser à 10 000 mètres cubes par an.

Comme l'adaptation à l'épandage peut être aisément, dans l'avenir, étendue à 12 000 hectares au moins, on voit que le nombre des habitants, et par suite le volume d'eaux résiduaires de la ville de Berlin peuvent s'accroître dans le rapport de 8 à 12, c'est-à-dire devenir une fois et demie supérieurs à ce qu'ils sont aujourd'hui, sans que la surface actuelle des fermes irrigables cesse de suffire à l'épuration du sewage de la grande cité. Il n'est pas inutile de faire remarquer, à ce sujet, qu'il n'en serait pas de même à Paris, le jour où le tout-à-l'égout s'étendant à toutes les habitations, la suppression des fosses fixes ou mobiles entraînerait une augmentation considérable dans le volume d'eau nécessaire pour l'entretien des chutes à l'égout. Ce

jour-là, l'extension des lits bactériens ou celle des champs d'épandage s'imposerait incontestablement.

La base qui a servi à fixer l'étendue des terrains aptes des fermes municipales est l'obligation prescrite par le ministère de consacrer 1 hectare de terre par 250 habitants, au traitement des eaux d'égout. Cette prescription est remplie, puisque les champs d'épandage ont une surface de 8 000 hectares, pour une population de 2 millions d'habitants.

L'écoulement souterrain des eaux est assuré partout : au 31 mars 1904, 6 990 hectares étaient drainés, et 6 926 bouches déversaient au dehors l'eau épurée par le sol.

Avant d'examiner les cultures des fermes, et les résultats de l'exploitation des domaines, quelques chiffres relatifs à l'alimentation en eau potable de la ville de Berlin, au volume des eaux d'égout, à la création et à l'entretien des fermes, méritent d'être notés.

Alimentation de la ville en eau. — Le nombre des conduites closes qui relient les habitations aux réservoirs est de 27 083, alimentant, en 1903, 1 909 088 personnes ; 26 390 conduites ont fourni l'eau contre payement par les consommateurs, 461 ont alimenté les fontaines publiques, les promenades, etc. ; enfin 232 conduites n'ont pas été utilisées (constructions neuves, bouches d'incendie, etc.). Le volume d'eau total s'est élevé dans l'année à 57 765 376 mètres cubes, qui se répartissent en multiples emplois que je me bornerai à grouper sous trois chefs :

	Mètres cubes		°/₀
Eau vendue	48 354 574	=	83,7
Eau gratuite.	5 163 701	=	8,9
Pertes, fuites, etc.	4 247 101	=	7,4

	PAR JOUR — Mètres cubes	PAR TÊTE — Litres
La consommation moyenne a été de. . .	158 261	81,24
La consommation maximum (30 juin) de.	214 446	110,65
La consommation minimum (26 déc.) de.	104 240	52,92

Le prix de vente au consommateur a été de 0 fr. 208 le mètre cube, le prix de revient étant de 0 fr. 147.

Eaux d'égout. — Le volume d'eau total (pluie comprise) déversé à l'aide des pompes élévatoires dans les champs d'irrigation a été de 85 964 834 mètres cubes en 1903, en excédent de 2 853 000 sur l'année précédente. La dépense totale pour l'ensemble des douze sections du système radial (personnel, pompes élévatoires, etc.) s'est élevée à 1 553 600 fr. (nombre rond).

La surface de la ville sur laquelle s'étend le système radial est de 5 593 hectares comprenant 27 886 immeubles et correspondant à 1 956 040 habitants. Le volume total d'eaux résiduaires a été, en 1903, de 85 964 834 mètres cubes, soit une moyenne journalière par immeuble de 8^mc^,42, et par habitant de 120 litres. Les frais totaux d'exploitation ont été, par immeuble, de 54 fr. 14 et, par tête, de 0 fr. 2625. Enfin, les frais d'exploitation ont représenté 0 fr. 1875 par mètre cube d'eau résiduaire.

La consommation quotidienne d'eau fournie par la ville étant, comme je l'ai dit, de $81^l,24$ par tête, et le volume correspondant d'eau d'égout, élevée par les pompes, de 120 litres, il en résulte qu'il a été déversé dans les champs d'irrigation, $38^l,76$ d'eau impure par habitant, en excédent sur la quantité d'eau pure fournie par le service des eaux. Cet excédent provient de la pluie, de l'eau des fontaines perdue sur le sol, de celle des établissements de bains et de quelques ateliers qui s'alimentent avec les eaux de condensation, etc. Les résidus solides, sable, déchets divers entraînés dans les égouts et retenus dans les bassins et dans les conduites représentent, en 1903, 14 734 mètres cubes, soit $7^l,53$ par tête pour l'année.

Champs d'irrigation. — Les chiffres qui précèdent fournissent sur le régime d'alimentation de Berlin en eau et sur celui des eaux d'égout des indications dont il m'a paru, malgré leur aridité, nécessaire de faire précéder la description des domaines municipaux.

Ainsi que je l'ai dit plus haut, la superficie des champs d'irrigation appartenant à la ville s'élevait, au 31 mars 1904, à 14 184 hectares, répartis entre sept administrations de district, comme on les appelle. A la même date, 8 013 hectares, chemins compris, étaient aptes à recevoir l'irrigation; mais, en 1903, la surface arrosée était de 7 082 hectares seulement, dont 2 798 en prairies et 4 284 en cul-

tures diverses. Elle a reçu 85 964 834 mètres cubes d'eau d'égout, soit à l'hectare moyen 12 118 mètres cubes, soit 33 mètres cubes par jour. Les extrêmes ayant été 9 405 mètres cubes et 14 124 mètres cubes, cette dose moyenne semble trop élevée en raison de la nature du sol, et la municipalité projette de l'abaisser à l'avenir à 10 000 mètres cubes, en augmentant, ce qui est facile, la surface irrigable.

La quantité d'eau qu'on peut utilement déverser sur 1 hectare varie naturellement beaucoup selon la nature des cultures. Aux céréales on donne 2 000 mètres cubes par hectare et par an; aux prairies 20 000 mètres cubes; les cultures maraîchères en absorbent 24 000. Nous voilà loin des inondations des champs de Paris.

Les cultures diverses étaient réparties, en 1903, dans les groupes suivants, sur les terres irriguées directement exploitées par la ville :

	TERRES arrosées — Hectares	TERRES non adaptées — Hectares
Prairies	1 605,65	544,15
Plantes oléagineuses (1)	252,75	2,50
Céréales (2)	3 130,19	1 270,37
Plantes sarclées (3)	841,96	501,86
Cultures diverses (4)	160,81	125,48
Ensemble	5 991,36	2 444,36

La ville loue à 367 fermiers 963^{ha},65, au prix moyen de 229 fr. 65 l'hectare et, à 168 fermiers, 1 365 hectares de terres non adaptées à l'irrigation, au prix moyen de 170 fr. l'hectare.

La prairie est la culture par excellence des champs d'épandage, et la difficulté d'utiliser directement ou de vendre la récolte de grandes surfaces est le seul obstacle à son développement. En 1903, les 1 605 hectares de prairies qui ont donné de quatre à sept coupes, dans l'année, ont produit une récolte totale de 621.256 quintaux

1. Colza et moutarde.
2. Blé, seigle (1 502 hectares), avoine, orge.
3. Betteraves fourragères et à sucre, carottes, pommes de terre.
4. Pépinières, arbres fruitiers, etc.

métriques, soit en moyenne 5110 quintaux métriques à l'hectare. Sa valeur brute s'est élevée à 495000 fr., soit 303 fr. 50 à l'hectare; déduction faite des frais de semailles, de récoltes et d'irrigation (198 fr. à l'hectare), le produit net a été de 105 fr. 55 à l'hectare.

Les rendements à l'hectare varient d'une ferme à l'autre dans d'assez grandes limites, mais on aura une idée générale de la production des champs d'épandage par les chiffres suivants qui représentent la moyenne des rendements de tous les domaines, pour la période quinquennale 1898-1902 (à l'hectare) :

	GRAINS	PAILLE
	Quint. mét.	Quint. mét.
Navette d'hiver	12,24	22,98
Blé d'hiver	17,07	31,10
Blé d'été	15,27	28,17
Seigle d'hiver	16,24	29,35
Orge	19,21	30,55
Avoine	14,20	21,80
Pois	12,25	27,97
Betteraves fourragères	312,00	»
Carottes	246,00	»
Pommes de terre	117,06	»
Colza d'hiver	15,03	33,78
Choux	156,09	»
Lupin	11,11	28,31
Betteraves à sucre	223,75	»

Ces rendements sont assez voisins, suivant le directeur Backhaus, de ceux qu'on obtient dans des sols de constitution analogue non irrigués, mais bien fumés et bien cultivés.

Les produits nets en argent à l'hectare, dans la même période quinquennale (produits bruts moins les frais) ont été les suivants, à l'hectare (en marks de 1 fr. 25) :

Blé d'hiver	154,58 marks
Blé d'été	131,20 —
Seigle	144,54 —
Orge	110,34 —
Avoine	36,58 —
Betteraves fourragères	80,74 —
Pommes de terre	69,32 —

Le rendement moyen en herbe dans les dernières années a varié d'une ferme à l'autre entre 500 et 800 quintaux à l'hectare.

Bétail. — La municipalité de Berlin entretient sur les sept domaines près de 1 600 têtes de gros bétail, savoir :

Chevaux	413
Bœufs	895
Vaches laitières	260

En 1904, la production totale du lait s'est élevée à 9 546 hectolitres ; le produit moyen, par vache et par jour, a été de 9l,51 ; la vente du lait (0 fr. 166 par litre) a donné 157 000 fr. En ajoutant à cette somme le prix du fumier vendu et celui du travail des animaux, le produit total du bétail s'est élevé à 479 000 fr.

Les constructions rurales des sept domaines de la ville, nécessaires pour l'exploitation des 10 000 hectares cultivés, représentaient, au 31 décembre 1904, une valeur de 9 millions, correspondant à 636 fr. par hectare. Le capital engagé, depuis l'origine, par la ville de Berlin dans la création et l'organisation des sept domaines d'épandage s'élevait, au 31 décembre de l'année dernière, au chiffre total de 166 millions de francs qui se décomposait dans les sommes suivantes :

Coût des canalisations	99 720 000 fr.
Achat des domaines	38 150 000
Adaptation à l'irrigation et drainages	20 830 000
Constructions neuves et intérêts d'emprunts	7 300 000
Total	166 000 000 fr.

Répartis sur les 14 183 hectares que possédait la ville au 31 décembre 1904, les dépenses engagées correspondaient aux chiffres suivants, par hectare (canalisations non comprises), nombre rond :

Achat du terrain	2 700 fr.
Adaptation et drainage	1 650
Constructions neuves	425
Total	4 775 fr.

Dans l'année 1903, le bilan des sept domaines municipaux a été de :

Recettes	4 076 650 fr.
Dépenses.	3 595 127
Excédent de recettes. . .	481 523 fr.

Tel est, dans ses grandes lignes, le bilan des champs d'épandage de Berlin. Les résultats en sont, on le voit, satisfaisants.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

SUR

L'ÉTAT DE L'AGRONOMIE[1]

Par le comte de SAN BERNARDO

SÉNATEUR

ANCIEN MINISTRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES ET DE L'AGRICULTURE

Traduit de l'espagnol, par G. WOLFROM, consul

L'homme est un être incompréhensible, porté par sa nature à faire tout ce qui lui est contraire ; on ne peut pas s'expliquer autrement que l'agriculture soit la Cendrillon de la maison. Nous vivons sous un régime de majorités ; les agriculteurs forment le plus grand nombre dans la nation et cependant, tout se fait contre eux. Impôts énormes, contributions de toutes sortes, absence d'enseignement professionnel et de moyens de transport rapides et économiques qui leur seraient si utiles, voilà leur lot! Pour qu'ils puissent retirer profit de leur industrie, tout leur manque.

Ils préfèrent l'espoir le plus léger d'une petite faveur personnelle et passagère aux efforts à faire pour exiger, comme ils le pourraient, que dans la direction des affaires de l'État, on leur accordât une influence décisive en rapport avec leur nombre et l'importance capitale de leur industrie, qui est si peu soutenue qu'elle les oblige à faire

1. Ce chapitre instructif, qui a pour but de provoquer la transformation complète des cultures en Espagne, a été lu au congrès agricole de Valence, le 24 novembre 1903, par M. le comte de Retamoso. La mort prématurée de mon savant ami, le comte de San Bernardo, est pour son pays une perte des plus sensibles.

l'unique politique qui leur convient, c'est-à-dire la politique agricole.

On pourrait difficilement imposer à un peuple vaincu, en vue d'avoir la certitude qu'il ne se relèvera jamais de sa défaite, une condition plus opprimée que celle dans laquelle se trouve l'agriculture espagnole, et cependant... les agriculteurs sont les plus nombreux; ce sont eux qui élisent les majorités, et les majorités font les lois qui servent à gouverner les nations.

Espérons qu'un jour ils finiront par s'unir et qu'ils utiliseront le pouvoir qu'ils ont entre les mains. En attendant que ce jour vienne, il importe que nous fassions le nécessaire pour nous défendre nous-mêmes, en travaillant pour le développement et la transformation de l'agriculture, nous autres qui savons tous quel avenir brillant et prochain peut être réservé aux agriculteurs espagnols.

Il importe tout d'abord, à notre agriculture, que ses produits se vendent à un prix rémunérateur et principalement les céréales, auxquelles nous consacrons les surfaces le plus importantes. Si les agriculteurs ont une action très limitée sur le prix de vente, influencé par un grand nombre de facteurs, qui le modifient facilement, ils ont, par contre, une action décisive sur le prix de revient, qui dépend exclusivement d'eux, et, comme de la différence de ces deux prix dépend le bénéfice, celui-ci sera d'autant plus grand que le prix de revient sera plus faible. Les agriculteurs auront, en outre, le double avantage, en produisant à bon marché, de diminuer les chances de concurrence et d'agrandir le champ de leurs affaires, en vendant à des acheteurs nouveaux, que l'on ne peut attirer qu'avec des prix de vente modérés.

Si l'on compare, en vue d'appliquer notre système, les méthodes actuelles de culture et les principes qui président au développement du végétal, on tirera naturellement la conclusion qu'il faut dégager les conditions dans lesquelles s'améliorera la production des céréales pour le plus grand bien des agriculteurs, qui se donnent la peine d'étudier la vie végétale précisément afin d'appliquer fidèlement les lois qui la régissent, obtenir en abondance la base de l'alimentation humaine et résoudre ainsi le grand problème, posé par le présent congrès et qui consiste non moins dans la recherche de la facilité à

produire l'alimentation que dans celle de la possibilité d'entretenir économiquement du bétail.

La grande production en céréales repose actuellement, en Espagne, sur la fertilité *naturelle* de la terre, fertilité que l'on entretient par la *jachère;* mais, comme on ne rend pas à la terre les éléments qui lui sont enlevés par les récoltes, la richesse de la terre en éléments nutritifs se trouve insensiblement diminuée, et cela au détriment des récoltes subséquentes, puisque la puissance productive du sol a diminué proportionnellement à la disparition des éléments dont il s'agit; il s'ensuit que la terre engloutit des sommes d'argent que ne viennent pas compenser des récoltes plus abondantes, que les terres, avec le temps, deviennent médiocres, puis mauvaises, et perdent ainsi le caractère immuable qu'elles devraient avoir, au premier chef, entre toutes les autres industries, celui de pouvoir rendre perpétuellement possible la vie de l'homme, lequel devrait toujours trouver en elles le pouvoir d'augmenter les céréales proportionnellement au nombre croissant des consommateurs.

Faite dans ces conditions, l'agriculture doit nécessairement produire peu et, partant, cher. Il n'est pas difficile d'expliquer la raison pour laquelle les choses se passent ainsi. La terre renferme d'immenses quantités d'éléments fertilisants, mais, dans sa sagesse, le Créateur, sachant que l'égoïsme de l'homme n'hésiterait pas à les épuiser, s'ils étaient à son entière disposition, ce qui équivaudrait à la fin du monde, a décidé qu'une petite quantité seulement serait mise chaque année en situation d'être utilisée par le végétal, et c'est pour cela qu'il y a des récoltes pendant les années où il pleut en temps opportun, car la pluie facilite la dissolution des éléments; mais, comme la plante a besoin que les éléments de la terre deviennent rapidement utilisables, quand la saison n'est pas favorisée par les pluies, ce phénomène ne se produit pas et il n'y a pas de récolte; il s'ensuit que toute culture qui ne repose que sur la dissolution spontanée annuelle rapportera fatalement peu, et, si cette petite quantité a été suffisante quand la population n'était pas élevée ou lorsqu'elle avait peu de besoins, lorsque cette population augmente, il devient nécessaire, comme l'expérience le démontre, pour avoir une plus grande production, de fournir à la terre un peu d'éléments solubles, sous forme

de fumier, qui contient cependant beaucoup moins de matières fertilisantes que le sol.

Il n'y a pas besoin de pousser plus avant ce fidèle tableau de la réalité pour pouvoir affirmer qu'avec sa méthode actuelle, l'agriculture espagnole ne peut pas donner une rémunération convenable à l'agriculteur, et qu'elle n'accomplit pas et qu'elle n'accomplira jamais, dans ces conditions, la fonction nationale qui lui incombe et qu'il est indispensable qu'elle remplisse au plus vite.

Examinons maintenant la manière dont se développent les végétaux, afin de trouver un moyen économique de favoriser ce développement, d'augmenter les récoltes proportionnellement à l'augmentation des habitants, tout en les assurant, en même temps, d'une manière régulière, car abandonner les récoltes au hasard des saisons, c'est préparer d'énormes différences de rendement d'une année à l'autre, avec de grandes perturbations pour le marché, et nous verrons que la base de l'agriculture nouvelle réside dans la méthode d'apport gratuit d'azote.

Si on met une graine quelconque dans un terrain fertile, elle se développe bien, et la récolte est abondante, tandis que dans une terre pauvre la vie de la plante est précaire et le résultat maigre; mais, si nous amendons généreusement cette même terre, la plante retrouve ce que lui assure un terrain naturellement fertile, et la récolte est abondante; en conséquence, en donnant à la terre les substances nutritives dont elle a besoin, l'agriculteur s'assure une récolte abondante.

Il est évident que toutes les plantes ont besoin d'azote et de minéraux; parmi elles, il en est qui, pour croître, ont absolument besoin d'absorber presque complètement l'azote du sol, tandis que d'autres prospèrent sans avoir à prendre l'azote disponible de la terre et lui en laissent même une quantité plus grande qu'auparavant, de sorte que le sol est plus riche après la moisson; dès l'antiquité, on avait observé cette différence, qui avait valu à ces dernières plantes l'appellation de plantes « améliorantes ».

Les plantes qui ont besoin de trouver de l'azote dans le sol constituent pour le laboureur la meilleure source des revenus indispensables à l'homme; ce sont : les céréales et les plantes industrielles.

Les autres plantes qui servent plus communément comme aliment pour le bétail sont les légumineuses, c'est-à-dire le trèfle, la luzerne, etc., qui non seulement laissent intact l'azote du sol, mais en augmentent la proportion; on en a découvert récemment la raison, qui est que ces légumineuses ont de petits organismes qui absorbent l'azote du réservoir inépuisable constitué par l'air atmosphérique.

Si, dans une bonne terre, on sème une légumineuse quelconque, elle pousse bien; mais, si le sol est pauvre, elle croît mal et, comme la pratique a enseigné continuellement que cette famille de plantes ne demande pas que l'on fournisse de l'azote au sol, parce qu'elle n'en a pas besoin, son manque de croissance ne peut avoir d'autre raison, dans les terrains mauvais, que la pauvreté en éléments minéraux; l'agriculteur, en fournissant au sol la quantité de ces éléments minéraux que la plante demande pour produire une bonne récolte, peut être certain que, puisqu'il y a dès lors dans la terre ce qu'il faut pour une végétation puissante, il aura une récolte proportionnée à l'apport des éléments minéraux.

Si on réussit à obtenir à peu de frais, indépendamment de la fertilité naturelle du sol, un important rendement en légumineuses, on peut être sûr d'avoir, ensuite, une bonne récolte de céréales, car il est facile de donner au sol les sels minéraux qui sont nécessaires pour utiliser tout l'azote que les légumineuses ont laissé.

En conséquence, si le cultivateur adopte pour ses cultures le système de fournir au sol les sels minéraux qui coûtent peu, en vue d'obtenir deux récoltes, et s'il sème une légumineuse, il obtient le résultat suivant : la légumineuse se développe très bien et constitue un aliment abondant pour le bétail; en outre, la même légumineuse a absorbé dans l'atmosphère de grandes quantités d'azote, qui reste dans le sol et qui, comme on le sait, représente l'engrais le plus cher parmi ceux qui sont nécessaires pour le grain ou la céréale que l'on sèmera ensuite, de sorte qu'on a la certitude d'avoir donné au sol, avec peu de dépense, tous les éléments qui sont nécessaires pour fournir deux récoltes exubérantes.

Des analyses répétées, faites sur les grains, ont démontré que ceux-ci sont très riches en azote et partant très nutritifs pour l'homme, qui les recherche tant, de sorte que l'on trouve encore en cela la raison

pour laquelle les récoltes sont d'autant meilleures que les plantes trouvent une plus grande quantité d'azote dans le sol. On sait aussi, d'une manière analogue, que l'apport de l'azote au sol est inutile pour la croissance des légumineuses, puisque celles-ci (on l'a expérimenté souvent), qu'elles soient semées avec ou sans azote, croissent d'une manière égale.

Notre méthode peut être appliquée très économiquement, car les végétaux sont non seulement formés des éléments minéraux que l'on fournit à la terre, mais aussi d'une quantité, neuf fois supérieure, d'oxygène, d'hydrogène et de carbone que l'atmosphère cède gratuitement, de sorte que si l'on achète *un* élément, celui-ci se condense gratuitement avec *neuf* autres, qui réunis au premier constituent la plante.

La mise en pratique de notre méthode est bien simple : après avoir fait les travaux de la terre le mieux possible, il faut lui fournir les engrais minéraux ; acide phosphorique, potasse et chaux, calculés pour les récoltes que l'on veut faire, et qui se sèment en automne ou au printemps ; on sème d'abord, suivant les coutumes de la localité, une légumineuse productrice d'azote, celle qui en fournit le plus ; une fois cette légumineuse poussée, on la coupe de manière à laisser dans le sol les racines sur lesquelles se trouvent les bactéries qui absorbent l'azote et on la donne comme aliment au bétail ; l'année suivante, sans nouvel engrais, et sans autre travail que celui des labours, on sème la plante consommatrice d'azote, le blé ou une autre céréale.

On ne peut pas démontrer d'une manière plus claire les bénéfices que l'on retire immédiatement, puisque les engrais minéraux, que l'on apporte au sol, ont une valeur moindre que celle de la légumineuse qui sert de fourrage, puisque la terre se trouve naturellement et gratuitement enrichie pour donner une récolte la plus abondante possible et puisque, enfin, on obtient, grâce au bétail qui est nourri par la légumineuse, un fumier gratuit, destiné à servir pour d'autres terres, c'est-à-dire à donner d'autres récoltes.

Il n'y a pas de doute à avoir que lorsque les éléments, dont la plante a besoin, se trouvent ainsi réunis, on obtiendra la récolte maximum que les conditions météorologiques de l'année permettront.

Il faut, naturellement, une certaine proportion dans les éléments

nutritifs. Cette proportion varie suivant le terrain et suivant la plante que l'on désire obtenir, mais elle se trouve limitée d'une manière assez étroite pour que l'on puisse donner à son sujet des règles générales qui serviront d'indications, tant que l'agriculteur ne se sera pas familiarisé, par la pratique, avec les proportions et suivant les cas spéciaux qui se présenteront. Le tableau qui suit peut servir de règle.

100 kilogr. de fourrage contiennent :

	AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
Luzerne	0,72	0,16	0,46
Trèfle	0,53	0,14	0,44
Sainfoin	0,51	0,12	0,42

100 kilogr. de céréales, avec la paille, contiennent :

	AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
Blé	2,40	0,01	1,16
Orge	2,77	1,15	1,88
Avoine	2,32	0,81	1,33
Maïs	2,08	1,12	1,33

Un exemple montrera mieux l'emploi de ce tableau. Si, dans une région, le plus grand rendement d'une bonne année est de 18 hectolitres de blé, qui pèsent environ 1 400 kilogr. avec la paille, il suffit de multiplier ce poids par le nombre qu'indique le tableau pour savoir la quantité de chacun des éléments fertilisants qu'il y a à fournir au sol en même temps que la semence. De la même manière, si nous devons obtenir 1 200 kilogr. de fourrage en luzerne, il faudra, d'après le même tableau, 19 kilogr. d'acide phosphorique et 55^{kg},20 de potasse et de chaux.

Le compte exact par hectare n'est pas compliqué non plus.

	ACIDE phosphorique	POTASSE	CHLORURE de potassium
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
20 hectolitres de blé ont besoin, pour se former, de	42	47	»
8 000 kilogr. de légumineuses ont besoin de	12	35	»
	54	82	»
350 kilogr. de superphosphate 18/20 contiennent, en état de devenir solubles.	54	82	165

Augmentons les quantités pour les déchets éventuels :

400 kilogr.	de superphosphate à 12 fr. les 100 kilogr. .	48f »
200 —	de chlorure de potassium à 32 fr. les 100 kilogr.	64 »
400 —	de plâtre à 1 fr. les 100 kilogr.	4 »
		116f »
Intérêt, 8 mois, à 5 %.		3 86c
Le prix de l'amendement s'élève à.		119f 86c

Mais 8 000 kilogr. de fourrage à 3 fr. 50 valent 280 fr. ; cette somme, le fait d'avoir fertilisé la terre en vue d'une récolte plus abondante et la valeur du fumier (produit par le bétail) représentent un bénéfice extraordinaire.

Cette restitution d'éléments nutritifs que la récolte a absorbés au préjudice de la fertilité du sol n'était pas possible tant que la science n'avait pas montré quels sont ces éléments et quelle en est la proportion. L'industrie, en les préparant à des prix abordables, comme elle le fait aujourd'hui, permet à l'agriculture nouvelle, fondée sur l'induction gratuite de l'azote, d'étendre de plus en plus ses effets bienfaisants parmi les agriculteurs, sans que ceux-ci aient rien à changer à une habitude séculaire, puisqu'ils n'ont autre chose à faire qu'à rendre productive la portion de terrain qui était destinée à la jachère, en y semant une légumineuse. On pourra donc supprimer la méthode du « repos par la jachère », petit à petit ou d'un seul coup, suivant les moyens pécuniaires de l'agriculteur, car cette méthode n'avait d'autre objet que de rendre à la terre, avec le temps, une fertilité bien inférieure à celle que lui donne notre nouveau système, qui convertit en un bénéfice positif ce qui autrefois constituait une dépense et une charge.

La jachère était une méthode que l'on ne pouvait pas remplacer à une époque où il n'y avait pas d'autre moyen connu de fertiliser les terres qu'en les laissant reposer, et où on ne connaissait pas de substances capables d'y suppléer.

Sur quoi se fondait la science de cette époque, si ce n'est sur le fait d'avoir observé qu'il était inutile de semer tous les ans, parce que la terre avait besoin de reposer ses forces fertilisantes et que pour obtenir ce résultat il fallait la laisser une année sans culture ? Ensuite

on était arrivé à la nécessité de fournir aux terres fatiguées de pauvres engrais, les seuls que l'on connût alors et qui ne parvenaient pas à donner un rendement supérieur à 8 hectolitres, tout à fait insuffisants aujourd'hui et qui prouvent la nécessité où l'on se trouve d'avoir une méthode plus parfaite. Que dirait-on d'un industriel qui laisserait reposer le tiers de ses machines, sous prétexte qu'elles travaillent d'une manière imparfaite ?

La jachère date du dix-septième siècle, lorsque l'Espagne n'avait que 6 millions d'habitants, lorsqu'elle n'avait pas de chemins, ni de travailleurs pour les travaux des champs, ni de consommateurs pour une récolte supérieure, qui d'ailleurs n'aurait pas été non plus transportable ; la jachère ne permet pas, par elle-même, d'alimenter un plus grand nombre d'habitants et, partant, elle est contraire au développement national, car il est impossible qu'avec ses faibles rendements, elle aspire à donner aux ouvriers des champs des salaires élevés, pas plus qu'un prix de revient bon marché.

La suppression de la jachère équivaudrait à augmenter la Péninsule du tiers de la surface qui est réservée à ce système et à pouvoir alimenter 6 millions d'habitants de plus. Ce serait vraiment de nature à relever la patrie et il y aurait là matière à glorifier le gouvernement qui obtiendrait ce résultat, en vue de remédier à la politique de désastre actuelle !

Si l'on ajoute la possibilité d'avoir dans sa propre ferme du bétail qui fait aujourd'hui défaut, c'est peu encore, car l'homme, comme l'industrie, doit se plier aux nécessités de son temps, et une analyse très minutieuse démontre que le prix des céréales est presque stationnaire depuis un siècle, tandis que la viande, le lait et d'autres produits du bétail ont augmenté, comme prix, d'une manière très sérieuse, faisant voir ainsi quelles sont les préférences du consommateur, préférences auxquelles doit s'attacher celui qui produit pour vendre. C'est ce qui se passe dans les autres industries, dont le perfectionnement continuel dans les machines et dont l'amélioration dans les méthodes de travail n'ont d'autre objet que d'adapter les conditions de la production aux conditions nouvelles du marché.

Avec notre méthode, disparaît aussi le danger qui menace toujours l'agriculture espagnole et qui réside dans la monoculture ;

en s'adonnant presque exclusivement à la production des céréales, il arrive que l'agriculteur peut se trouver en face de printemps secs, qui donnent peu ou point de récoltes, et alors il ne trouve pas dans d'autres produits des ressources pour compenser ses pertes ; le grain apporte, en effet, peu d'éléments utilisables pour le bétail, si ce n'est la paille, dont les qualités nutritives sont insuffisantes, et il en résulte un manque de fumier, qui est la condition première pour avoir des récoltes ultérieures.

Je ne veux pas dire qu'il faut abandonner la culture du grain, bien au contraire, mais il faut qu'elle soit accompagnée d'autres cultures qui ne risquent pas les mêmes dangers dans la même saison, afin de compenser les pertes au cours des années où les récoltes ne se présenteront pas dans de bonnes conditions, car il est bien rare que la température soit, en même temps, défavorable à toutes les récoltes des produits de la terre. Des plantes dont les risques culturaux ne sont pas identiques à ceux des céréales et qui en outre produisent une alimentation suffisamment bon marché pour entretenir du bétail donnent une garantie de succès, une stabilité à l'agriculture dont on trouve l'exemple dans ces contrées de l'Espagne où l'on pratique le système rationnel de faire des cultures très variées.

Une autre considération plaide en faveur de ce système. Sur quelles données techniques, sur quelles assurances de succès reposent les raisons qui ont présidé au choix des terres pour les destiner aux différentes cultures de l'Espagne ? Qu'est-ce qui prouve que ce choix a été fait raisonnablement et dans les meilleures conditions ? Absolument rien ne pouvait obliger à s'en tenir à la culture exclusive des céréales.

On s'en est tenu à l'empirisme, car lorsqu'on fit ce choix, la science agronomique n'existait pas, et aux nécessités du moment, qui n'étaient pas les mêmes qu'aujourd'hui. Dans l'antiquité, le manque de moyens de transport obligeait à cultiver les plantes qui nourrissaient l'homme et qu'on ne pouvait pas faire venir d'ailleurs ; plus tard, ce fut l'âpre envie de retirer un profit assuré de la fertilité qu'avaient accumulée des siècles, dans des terres qui n'avaient pas été labourées jusque-là. Ces deux considérations ont disparu, la fertilité accumulée dans le sol a été consommée, la facilité des trans-

ports permet de s'adresser aux pays lointains, quand l'homme en sent la nécessité. Depuis lors, a-t-on cherché à faire un classement des terres pour permettre à l'agriculteur d'avoir de plus grandes chances de réussite? Non. Les anciennes méthodes, qui sont encore suivies, offrent peu de chances de succès pour implanter cette première partie du problème à résoudre. Si au choix des anciennes méthodes de culture on n'a pas vu présider des preuves évidentes qu'elles étaient essentiellement bonnes et si elles ne remplissent plus leurs fonctions, quel grave inconvénient peut-on trouver à ce qu'on cherche à leur en substituer aujourd'hui une meilleure?

L'expérience, qui n'est pas autre chose que l'application de la science du passé, nous apprend que les plantes ne consomment pas dans les mêmes proportions les éléments nutritifs en vue de leur développement, de sorte que, logiquement, les terres sont mieux utilisées, si on leur fait produire les espèces de plantes qui rencontrent dans le sol les qualités nutritives qui leur conviennent le mieux; c'est pour cela qu'il y a de bonnes et de mauvaises terres, non pas qu'elles soient parfois absolument mauvaises, parce que les terres qui ne peuvent rien produire sont très rares, mais parce qu'on les utilise parfois pour des plantes qui ne sont précisément pas celles qui y pousseraient le mieux; la terre ne vaut que par les éléments fertilisants qu'elle renferme; de là vient aussi que l'agriculteur trouvera ou non son bénéfice, suivant qu'il observera ou non les lois de la production végétale, sur lesquelles son intelligence et ses bras ont bien peu d'action. Cette loi est si invariable qu'on sait qu'elle s'applique même aux plantes d'une même variété, à plus forte raison, à celles d'espèce différente.

L'agriculteur a aussi à lutter, lorsqu'il a semé, avec les mauvaises herbes, qui croissent avec une grande facilité, au détriment de ce qu'il cultive avec ardeur, car ces mauvaises herbes naissent et se développent facilement, leurs exigences nutritives étant moindres que celles de la céréale et même distinctes. Comme les mauvaises herbes rencontrent dans le sol les éléments qui leur conviennent, elles peuvent se développer complètement en un temps moindre, tandis que le grain, qui ne trouve pas les mêmes facilités, s'efforce désespérément de rencontrer et d'absorber ce dont il a besoin pour

son développement complet, de telle sorte que si l'on n'enlève pas très soigneusement les mauvaises herbes, le champ s'en couvre complètement au préjudice de l'agriculteur, et elles font disparaître les plantes qui avaient été semées et qui ne peuvent croître, faute de se trouver dans de bonnes conditions pour se développer, c'est-à-dire faute de pouvoir se nourrir, par suite de la présence de plantes parasites qui leur prennent les éléments fertilisants, que l'agriculteur destinait à une autre fin et qui lui deviennent sans utilité.

Il n'y a pas à insister pour montrer les bénéfices que l'on retire d'un choix judicieux des terres, pour les approprier aux plantes qu'elles peuvent produire le plus avantageusement. Aussi faible que soit cet avantage, il vaudra toujours mieux que la perte, quelle qu'elle soit, qui résultait des efforts en vue d'obtenir des plantes dans des terrains peu convenables et qui représentaient beaucoup de temps et beaucoup de frais, et qui en outre étaient inutiles, puisqu'ils n'auraient pas été nécessaires, si on avait choisi des cultures mieux appropriées aux terrains dont il s'agit. Qui ignore que l'on peut gagner de l'argent en produisant du seigle dans un sol qui vous en ferait perdre si l'on voulait y cultiver du blé, alors que le sol en question ne convient pas à la culture du blé !

Combien d'agriculteurs s'obstinent à produire du blé dans une terre qui leur fait perdre de l'argent, alors qu'il est mathématiquement impossible qu'il en puisse être autrement et qu'au contraire, ils en gagneraient s'ils lui faisaient produire un bon seigle, pour lequel elle remplirait les conditions requises !

Le simple examen des éléments de chacune de ces deux céréales explique la raison de cette différence de croissance, suivant le terrain. Pourquoi vouloir attribuer aux saisons les mécomptes qui résultent de certaines cultures entreprises dans des terrains qui ne leur conviennent pas, alors que l'agriculteur peut y remédier par la réflexion ?

Celui qui ne les a pas traversées, connaît au moins de réputation les fameuses landes de la Gascogne, qui, il y a cinquante ans, étaient des plaines de sable, où des moutons faméliques trouvaient difficilement de quoi se nourrir, sous la surveillance de gardiens qui avaient besoin d'échasses pour que le poids de leur corps ne les

fit pas s'enfoncer, et où il a suffi à un homme de science comme Brémontier de démontrer qu'il existait une sorte de pin qui pouvait trouver sa vie dans ces sables, pour que ces sables se couvrissent de ces pins sur 400 000 hectares et pour que chaque hectare représentât ainsi un bénéfice moyen de 50 fr., pour le plus grand bien des habitants et du pays.

Le même résultat peut être obtenu pour les terrains pierreux de la Guadarrama, si l'homme veut s'efforcer de les utiliser, bien qu'ils paraissent absolument stériles, et cela en y plantant des essences qui pourraient y pousser.

Il faut donc que dans toute l'Espagne on fasse cette classification primordiale, afin de mettre du côté de l'agriculture toutes les conditions favorables à la réussite de son industrie. Cette classification a d'ailleurs été faite dans les pays dont les habitants connaissent l'importance qu'il y a à savoir choisir ses gouvernants et où, par contre, ceux-ci s'efforcent d'être utiles à ceux qui les ont nommés, au moyen de cartes agronomiques et de champs d'expériences, qu'il suffit de consulter pour savoir à quelle culture il faut approprier ses terres. Ici, au contraire, nous nous contentons modestement de savoir quelle est la couleur politique de nos gouvernants qui, quels qu'ils soient, augmenteront encore les charges et rendront plus difficile la vie de celui qui aura ainsi perdu comme laboureur, s'il a gagné quelque chose comme politicien.

Enfin, le système que nous préconisons est aussi possible à mettre en pratique qu'avantageux, il n'y a qu'à en juger par les expériences bien connues de Rothamsted, qui ont eu lieu pendant un demi-siècle en vue d'écarter tous les motifs d'insuccès attribuables aux conditions météorologiques. On a partagé un terrain en trois surfaces égales; sur l'une, on a semé du blé tous les ans; sur l'autre, on en a semé une année et on n'en a pas semé la suivante, c'est-à-dire on a alterné avec la jachère; sur la troisième, on a semé du blé une année et une légumineuse l'année suivante. Le résultat a été aussi instructif que concluant: la quantité de blé récolté dans les cinquante-trois années a été *identique* sur les trois portions de terrain, de sorte qu'on a eu la preuve qu'il est inutile de semer tous les ans, puisque avec le repos de la jachère on obtient une même quantité de

grains, tandis qu'en alternant le grain avec une légumineuse, non seulement on a encore la même quantité de grains, mais on a en plus du fourrage, et cela sans augmenter les dépenses.

Si toutes ces raisons ne sont pas encore suffisantes pour décider l'agriculteur à suivre la voie qui convient le mieux à ses intérêts, il devrait suffire de lui dire qu'il s'agit en l'espèce d'une méthode qui éloigne à jamais l'épée de Damoclès qui est constamment suspendue sur l'agriculture espagnole, et qui consiste dans la possibilité que nous ne produisions pas assez, ni à assez bon marché, pour l'alimentation nationale, alors qu'au contraire nous pouvons supprimer ce point noir, qui assombrit notre labeur et qui consiste dans l'importation annuelle de blés étrangers.

Unissons-nous pour connaître davantage nos terres, faisons quelques efforts et bientôt nous atteindrons le but patriotique de produire tout ce dont l'Espagne a besoin pour vivre.

Il ne faut pas oublier que le progrès ne s'arrête pas dans sa marche triomphante ; on a obtenu, après un rude combat, que les pouvoirs publics, effrayés du spectacle de l'état de l'agriculture espagnole, fissent voter des droits de douane compensateurs pour les céréales produites par des pays plus favorisés que nous, mais il faut penser aussi que plus on avancera, plus les classes ouvrières demanderont une alimentation bon marché et alors il se peut que les gouvernants croient trouver une solution pour les satisfaire, en prenant de nouvelles mesures qui nuiraient aux agriculteurs et en raison desquelles il y a lieu de prendre les devants, en vue d'y parer.

Déjà en 1887, à la suite d'une enquête sur la crise agricole, on a reconnu qu'avec les méthodes actuelles il était impossible de produire du blé à moins de 20 fr. les 100 kilogr. ; mais, comme le blé étranger arrive dans les ports à un prix de vente qui diminue tous les ans, il est à prévoir que la mesure qui a été prise contre cette céréale deviendra insuffisante ; nous n'avons pas d'autre ressource que de diminuer notre prix de revient, or, par bonheur, il s'offre précisément à nous un moyen de réaliser de sérieuses économies dans nos prix de production.

Ceux qui sont réfractaires au progrès, et ils sont légion, car la quiétude ne demande ni étude ni effort, pourront observer que la

méthode d'alterner des légumineuses avec des graminées est vieille comme le monde ; mais heureusement on n'a employé cette méthode qu'isolément et non pas comme un système d'alternance, auquel cas on aurait épuisé les éléments minéraux de la terre en vue de les combiner avec l'azote, qui aurait été induit dans le sol, et le mal aurait encore été pire ; ils oublient que la nouvelle méthode complète précisément l'ancienne, par l'apport qu'elle fait au sol d'éléments minéraux, qui par le fait ne peuvent s'épuiser.

D'autres, qui firent de mauvais essais avec les nouveaux engrais ou qui ne surent pas les utiliser dans la proportion requise, déclarent qu'ils sont nuisibles, mais c'est parce qu'ils rendent eux-mêmes leurs terres infertiles, à l'exemple de celui qui ne connaîtrait pas le piano et qui prétendrait que cet instrument, lorsqu'il cherche à en jouer, est incapable de produire des sons harmonieux.

Il ne manquera pas non plus d'agriculteurs pour dire que la nouvelle méthode ne servira à rien pendant les années où il pleuvra peu ; alors que c'est précisément un des avantages fondamentaux de notre méthode, de rendre les éléments nutritifs de la plante immédiatement solubles et d'utiliser ainsi, pour produire un effet utile, la plus petite quantité de pluie qui vient à tomber, de sorte que s'il faut, pour produire 1 kilogr. de matière végétale dans un terrain amendé, l'évaporation de 300 kilogr. d'eau, il faudra trois fois plus d'eau là où il n'y aura pas eu amendement ; c'est même en cela que réside la cause de nos faibles rendements de céréales : nos terres sont trop lentes à rendre utilisables les éléments nutritifs des plantes et, en outre, les pluies sont trop rares. Dans tous les cas, les éléments contenus dans la terre ou qui lui sont fournis ne sont pas perdus ; s'ils ne sont pas utilisés par une récolte, ils servent pour la suivante.

Après avoir démontré l'utilité pour l'agriculteur d'adopter notre méthode, qui est pleinement économique et qui lui permettra de remplir le devoir patriotique, qui consiste à augmenter les récoltes, il nous reste à examiner si la méthode préconisée peut donner satisfaction aux nécessités sociales ; car tout système qui ne constitue pas un tout harmonique où l'on rencontre l'intérêt du producteur, celui de la société en général, et la perspective de conserver ce qui nous

appartient, est inefficace; or, voici que l'on aperçoit, en toute évidence, que notre système est non seulement un moyen de convertir l'agriculture en une véritable industrie de transformation d'éléments en aliments, mais qu'il constitue une véritable révolution, qui forme la clef de voûte de tout l'édifice social.

Dans tous les temps, les partis extrêmes ont lutté pour démontrer que l'on doit considérer la propriété de la terre comme différente des autres propriétés, parce que ceux qui la possèdent utilisent à leur profit la *fertilité naturelle* du sol, dont ils tirent des bénéfices au détriment des générations présentes et futures, qui par droit de naissance auraient le loisir d'utiliser la terre pour vivre, comme elles utilisent l'air et la lumière. Les partis extrêmes prétendent fonder sur ce fait la nécessité de répartir entre tous la propriété de sol, car en laissant les choses comme elles sont aujourd'hui on se trouve en opposition avec la satisfaction des besoins naturels de l'homme, c'est-à-dire en opposition avec la liberté de croître et de multiplier.

Eh bien, la méthode que nous conseillons résout toutes ces questions, en apparence contradictoires. Ce qui a été dit démontre clairement la différence qui existe entre les deux agricultures; dans l'ancienne agriculture, comme les terres rendent suivant leurs qualités, les terres moyennes et les terres mauvaises peuvent donner un maigre bénéfice, tandis que la transformation radicale qui a pour objet de donner à la terre les éléments qui se convertiront en récolte, grâce à leur combinaison avec l'élément fourni par ce réservoir inépuisable qu'est l'atmosphère et qui fait du sol un véritable laboratoire, transformant les éléments en proportion de ce qu'il en reçoit, laisse intacte la fertilité naturelle du sol; bien plus, elle augmente d'année en année cette fertilité, qu'elle emmagasine réellement pour les générations à venir, pour lesquelles la *fertilité naturelle* est un patrimoine évident; elle enrichit la terre de manière à la laisser prête à donner satisfaction à ceux qui naîtront par la suite, et quel que soit leur nombre, puisque c'est une loi inéluctable que les hommes aient à s'alimenter dans ce bas monde.

La nouvelle méthode fait participer toutes les terres de ses bienfaits, puisque sa caractéristique est, en somme, d'augmenter, par ses principes mêmes, la fertilité du sol, d'une manière constante,

tandis qu'avec l'ancienne agriculture, on épuisait annuellement la terre en créant des récoltes au détriment du sol.

Avec des armes de combat aussi puissantes, l'horizon ne se présente plus, pour les agriculteurs, aussi sombre qu'à la fin du siècle passé, car la relation intime qui existe entre la grave question sociale et le prix des substances alimentaires détermine un changement radical chez les gouvernants en faveur de ceux qui établissent ce prix. Dans leur propre intérêt, les gouvernants seront incités à user à l'égard des agriculteurs de procédés qu'ils méconnaissaient jusqu'alors, parce que leur éducation, qui remontait à une autre époque où l'on avait d'autres idées, ne leur avait pas permis d'apprécier quelle est la véritable politique, celle dont ont besoin les nations modernes pour se développer.

La connaissance et la protection de l'agriculture ont toujours été négligées par nos hommes politiques, qui la considéraient comme une matière peu digne de leur lyrisme parlementaire et de l'éclat de leurs programmes; mais la nécessité les oblige aujourd'hui à étudier les questions agricoles attentivement et à les faire passer avant les problèmes ouvriers et les difficultés industrielles qui, au vingtième siècle, ruineront ou consolideront le pouvoir des partis politiques.

Nous venons de justifier l'opportunité d'examiner des questions comme celle qui a été étudiée par ce congrès et la nécessité de recourir souvent à de semblables réunions. Il faut faire voir à tout moment aux gouvernements que nous sommes là et que nous sommes unis. Nous sommes la force la plus grande de la nation et c'est avec plus de droit qu'aucune autre que nous pouvons dire, face à face avec les gouvernants : « Écoutez nos légitimes aspirations, pour le « plus grand bien de la patrie, car si vous êtes inaptes au bien pu- « blic... vous disparaîtrez ! »

COUP D'ŒIL GÉNÉRAL

SUR LES

PROGRÈS DE LA MEUNERIE

Par E. FLEURENT

PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS (1)

I

« Je me plais, disait Pasteur, à rattacher aux explications de la science les usages techniques. Ils sont presque toujours le fruit d'observations justes. Bien que la nature de mes travaux ne m'ait pas souvent rapproché de l'application, il m'a été donné déjà maintes fois de reconnaître toute la vérité des pratiques du métier. Il arrive bien, parfois, que c'est la vérité de la légende, mêlée de merveilleux ; mais, si cette pointe de miracle ne vous rebute pas et que vous aimiez à considérer les faits en eux-mêmes, vous reconnaîtrez à peu près invariablement qu'un usage quelconque, lorsqu'il est généralement suivi, est le fruit d'une expérience raisonnée, qu'il y a quelque utilité à ne point s'en écarter, et que la connaissance des phénomènes naturels qui s'y rattachent n'est vraiment complète que lorsqu'on en peut donner scientifiquement l'explication. »

Parmi toutes les industries, aucune n'apporte à la vérification des idées de Pasteur plus d'autorité que celle qui est basée sur l'utilisation des grains, des céréales et en particulier sur l'utilisation du grain de blé. On sait que celui-ci est constitué par une amande blanche et friable, entourée d'une enveloppe constituant le son, soutenant,

---

1. Extrait du Rapport général sur l'agriculture à l'exposition universelle de 1900, par L. Grandeau.



à l'une des extrémités, le germe ou embryon. Or, bien que les travaux scientifiques permettant d'établir la valeur alimentaire relative de chacun de ces éléments ne remontent guère au delà de la seconde moitié du dix-neuvième siècle, on peut dire que la pratique qui consiste à séparer l'amande farineuse de son enveloppe et du germe est aussi ancienne que l'humanité, et il est facile de prouver que les perfectionnements qu'ont subis à travers les siècles, et jusqu'à l'exposition universelle de 1900, les différents engins de mouture ont eu pour but de réaliser ce desideratum : extraire du grain de blé, en quantité de plus en plus grande, de la farine de plus en plus pure, c'est-à-dire de plus en plus blanche.

Il n'est pas douteux que les Hébreux déjà connaissaient ce produit, de même qu'ils connaissaient la fermentation panaire. Moïse met en effet dans la bouche de l'Éternel les paroles suivantes : « Et quand quelque personne offrira une offrande de gâteau à l'Éternel, son offrande sera de fleur de farine... » (*Lévitique*, chap. II.) « Et quand tu offriras une offrande de ce qui est cuit au four, que ce soient des gâteaux sans levain, de fine farine... » (*Lévitique*, chap. II.) L'obtention de cette fleur de farine comprenait, dès cette époque, un broyage et un tamisage. On peut penser, d'après un texte de l'*Exode* et du *Deutéronome*, que le broyeur usité était de forme plate, peut-être analogue à la meule, semblable tout au moins à la pierre plate utilisée au début de la civilisation par les habitants de l'Europe centrale, par les Égyptiens, les Chaldéens, pierre plate que l'on retrouve encore chez certaines peuplades de l'Afrique et de l'Amérique tropicales. Dans tous les cas, avec le tamis à main fait de filaments de papyrus, de joncs, puis de fil et de crin de cheval, l'engin de broyage constituait l'embryon de ce qui devait devenir plus tard le moulin mécanique.

Si, depuis cette époque, on étudie les efforts tentés pour perfectionner, à travers les siècles, la mouture du grain de blé, on est frappé du fait suivant qui se renouvelle par périodes successives : c'est d'abord à l'appareil de broyage que l'homme donne tous ses soins, il en change la forme, le mode de construction, puis, quand il croit avoir atteint son but, il s'occupe de l'appareil de blutage, le perfectionne à son tour ; il revient alors au broyeur, puis repasse au blutoir et ainsi de suite, comme il est facile de le montrer.

A la pierre plate dont je viens de parler, au mortier qu'on retrouve chez les Chinois, à Madagascar, employé au décorticage du riz, succède, chez les Romains, la meule tournante formée d'une pierre gisante très conique, la *meta,* et d'une autre taillée en forme de sablier, le *catillus,* qui recouvre la *meta* et qui, faisant office de courante, reçoit le grain à moudre par l'entonnoir supérieur. Chez les Gallo-Romains, la meule s'affaisse au point d'arriver à peu près à la forme de la meule plate que nous connaissons aujourd'hui.

Très rapidement alors, la mouture entre dans le domaine mécanique : le vent, l'eau sont utilisés pour la mise en mouvement. C'est le temps de la mouture à la grosse, qui ne comprend qu'un seul broyage et un tamisage, sans remoulage des gruaux. De 240 livres de blé, on ne tire guère que 90 livres de farine. Le son et le germe sont éliminés, les édits royaux de 1546 en interdisent l'emploi par le boulanger. On tient tellement en haute estime la farine blanche qu'on peut dire qu'à cette époque, les animaux regorgent de nourriture, alors que les hommes manquent de pain ; la différence dans les qualités du pain est assez appréciée pour que, parlant des rapports de Néron et de Fierabras, devenu son valet au séjour des damnés, Rabelais puisse écrire : « Et lui faisait manger le pain bis et boire vin poulsé, lui mangeait et buvait du meilleur. »

En 1760, le boulanger Malissel fit, par autorisation royale, la première expérience publique de mouture dite *économique,* comportant le remoulage des gruaux. Le moulin utilisé, avec la construction de son beffroi, le mode de suspension de la meule courante, la disposition de l'archure, se présente déjà sous la forme que nous lui connaissons encore à notre époque, avec cette différence que les meules sont rayonnées dans le sens des rayons.

Mais le tamis a reçu, lui aussi, des modifications importantes. Aux tissus grossiers faits de filaments de papyrus, de joncs, de fil et de crin de cheval, a succédé l'étamine formée de fil ou de soie tissée. Dans le moulin mécanique, le blutage est obtenu au moyen d'un sac ou chausse en soie de porc dans lequel on place la boulange et qu'un bâton, mis en mouvement par un axe, vient battre alternativement : c'est le bluteau lâche.

L'introduction dans le moulin de la mouture économique force le

meunier, très rapidement, à perfectionner ce bluteau. En effet, on extrait du blé 72 à 75 °/₀ de farine, mais cette farine doit être « bien purgée de son », car « le son nuit à la conservation des farines, tache leur blancheur, rend le pain aigre, bis, fait poids et non nourriture (1) ». Alors, au bluteau lâche on voit s'adjoindre l'appareil de dodinage destiné à sécher les sons, c'est-à-dire à leur enlever toute la farine adhérente, puis s'introduit dans le moulin la bluterie cylindrique tournante, et enfin, en 1785, la bluterie prismatique encore utilisée aujourd'hui.

Une fois en possession d'un appareil de blutage perfectionné, le meunier revient à la meule, il change le mode de rayonnage et crée le rayonnage rationnel fait entre des portants assez larges, puis il substitue à la pierre unique, dans la construction de l'engin, les carreaux assemblés à éveillures variables. Nous sommes en 1834, et depuis, la meule n'a pas reçu de perfectionnement nouveau ; mais la bluterie centrifuge destinée à briser les plaquettes de farine agglutinée, le sasseur ayant pour but de classer les gruaux et de les débarrasser des particules d'enveloppe sont venus apporter au meunier leur concours pour l'obtention d'une farine plus pure.

Telle est, rapidement esquissée, l'histoire du moulin à meules; elle montre que, dans les divers perfectionnements qu'il y a apportés. l'homme n'a poursuivi qu'un seul but : obtenir un rendement de plus en plus grand en farine blanche.

Arrivé ainsi à un haut degré de construction rationnelle, l'appareil de broyage du grain ne pouvait plus recevoir de modification réellement utile et sérieuse sans changer de forme. C'est ce qu'avait compris, dès 1818, le Français Bérard en utilisant pendant quelque temps, pour écraser son grain, des cylindres en fonte. Cependant, malgré ces essais, malgré ceux de l'Américain John Collier ; de M. Benoist, de Saint-Denis ; de Weggmann, de Zurich, qui créa les cylindres en porcelaine encore employés aujourd'hui pour le convertissage des gruaux, le nouveau mode de broyage ne pouvait faire la conquête de l'industrie que lorsque serait trouvée la matière d'un prix abordable capable de résister pendant un temps économiquement suffisant au

1. Béguillet, *Manuel du meunier*, Paris, 1776.

dur travail de la réduction du grain. C'est la maison Ganz, de Budapest, qui trouva, dans l'emploi de la fonte trempée, la résolution du problème posé, et dès lors, on vit les farines de mouture hongroise se répandre sur le marché et battre en brèche, à cause de leur pureté, les farines obtenues à l'aide des meules.

C'est qu'en effet, la différence de pureté de ces produits s'explique par le mode même de travail de l'un et de l'autre engin. Les meules agissent par chocs répétés, il s'ensuit qu'elles ne peuvent ouvrir le grain rationnellement, de manière à en réduire en gruaux et farine les couches successives de l'amande; elles mélangent, en grande partie, toutes ces portions indifféremment et arrivent à un curage imparfait du son; de plus, elles écrasent le germe, pulvérisent une partie de l'enveloppe dont les débris sont dès lors assez fins pour traverser les soies des bluteries et venir ainsi diminuer la blancheur de la farine. Enfin, la mouture entre les meules produit un échauffement considérable, nuisible à la valeur boulangère des produits obtenus, ainsi qu'on le verra plus loin.

Les broyeurs à cylindres agissent bien différemment : on sait qu'ils sont armés de cannelures hélicoïdales et tournent à vitesse différentielle. Il s'ensuit, et l'étude cinématique de leur mouvement relatif montre d'une façon indiscutable que le cylindre rapide a pour effet d'ouvrir le grain en se servant du cylindre lent comme appui, tout en accomplissant sur lui un piochage progressif. Ce piochage s'effectue avec le minimum de chocs, un échauffement faible quoique trop élevé encore; il enlève par couches successives l'amande farineuse, après avoir fendu le grain, et du même coup fait sauter le germe sans l'écraser, et l'on conçoit que le curage du son s'ensuive, sans production de cette quantité de piqûres fines que l'on rencontre dans les farines de meules. D'ailleurs, l'analyse comparative des produits obtenus rend un compte absolu de ces faits.

Dès lors, il n'y a pas lieu de s'étonner du développement rapide pris dans le monde entier par le nouveau système de mouture, développement qui a été cause d'un progrès que l'exposition de 1889 avait fait toucher du doigt, que l'exposition de 1900 vient de sanctionner à nouveau, ainsi qu'on pourra s'en rendre compte à la lecture des rapports particuliers des classes 55, 56 et 57.

Cependant, ainsi qu'il est nécessaire de le constater, depuis 1889, le broyeur à cylindres, très perfectionné déjà, ne pouvait recevoir et n'a reçu que des modifications de détail. Dès lors, revenant à la loi énoncée précédemment, depuis cette époque, c'est à l'appareil de blutage que le constructeur a appliqué son génie inventif.

En 1889, l'exposition montrait que la séparation des produits du broyage et du convertissage était obtenue au moyen de tamis hexagonaux ou cylindriques, tournant à des vitesses plus ou moins grandes, recevant la marchandise à une extrémité, tandis qu'à l'intérieur, des brosses ou des batteurs, tournant eux-mêmes plus ou moins rapidement, la projetaient contre la toile et forçaient les parties de finesse correspondante à la traverser. Ces appareils présentaient, au point de vue de l'obtention des farines blanches, de grands défauts. Certes, ils avaient pour effet d'aider à la séparation des produits du convertissage des gruaux en désagrégeant les plaquettes de farine formées par le passage entre les surfaces lisses des cylindres utilisés, mais par contre, la marchandise, frottée ou projetée brutalement contre la soie par les brosses ou les batteurs, subissait un travail forcé qui entraînait de nombreuses impuretés à travers les mailles du tissu ; de plus, les ouvertures du tamis, prises suivant une génératrice, ne se trouvant que pendant un instant dans le plan horizontal, offraient des surfaces de blutage incomplètement utilisées.

Depuis 1889, pour remédier à cet inconvénient, on a créé la bluterie plane, de forme circulaire ou rectangulaire, à laquelle on a donné le nom allemand de *Plansichter* et qui reproduit, par un mécanisme ingénieux dû à Haggenmacher, aussi fidèlement que possible le mouvement du sas ou du tamis à main. A la surface des tamis de ces *Plansichter*, l'avancement des produits se fait doucement, par l'action de leur propre poids, sous forme de courbes qui augmentent la surface utilisée ; de plus, il s'opère de ce fait un classement par ordre de densité qui fait que les produits les plus blancs étant les plus lourds sont toujours au contact de la soie et peuvent, par conséquent, la traverser seuls ; de là un plus grand rendement en blancheur. C'est là le fait important et dominant que l'exposition de 1900 a permis d'observer.

L'examen des conditions du marché des farines chez les grands

peuples civilisés montre que partout on exige des farines de plus en plus blanches : tous les appareils, dans le moulin à cylindres, concourent à satisfaire à ces besoins. Certes, ce système ne se pliant pas aux exigences d'une production minime, les petites installations disparaissent peu à peu devant les industries qui prennent parfois une importance considérable ; si c'est là un inconvénient, il est largement compensé par ce fait que, malgré la nécessité d'un appareillage coûteux, les frais de mouture, répartis sur une grande production journalière, se sont considérablement abaissés et ne représentent aujourd'hui pas plus de 1 fr. 50 par 100 kilogr. de grain, ne grevant ainsi que d'un centime et demi le prix du kilogramme de pain. C'est là un résultat qu'on est heureux de constater. Est-ce à dire que le moulin moderne n'a plus de progrès à accomplir ? Il n'en est rien et l'examen des travaux scientifiques qui expliquent les perfectionnements que je viens d'énumérer, qui les ont entraînés quelquefois, permet, pour terminer cette partie du rapport général, de répondre à cette question importante.

II

L'étude précédente montre d'une façon péremptoire que la séparation, aussi complète que possible, de l'amande farineuse des impuretés, son et germe, qui l'entourent, a été le but systématiquement poursuivi à travers les siècles par l'industrie meunière.

A la vérité, jusqu'à la fin du dix-huitième siècle, c'est l'empirisme qui, comme dans tous les usages techniques des hommes, a réglé les conditions du travail de réduction des grains. C'est à Parmentier qu'on doit les premières expériences destinées à éclairer cette question, c'est-à-dire à démontrer que le mélange à la farine des particules de son et de germe est bon ou mauvais. A la suite d'observations faites sur les ouvriers de divers entrepreneurs, Parmentier écrivait, en 1782, « qu'il est prouvé qu'une livre de pain où il n'y a pas de son soutient davantage qu'une livre et un quart de pain avec du son ».

C'est Liebig qui, le premier, essaya de revenir sur ces idées et, se

basant sur la similitude de composition des éléments constituants des diverses parties du grain, essaya de poser en principe « que le blutage est une opération de luxe et que l'élimination du son est plus nuisible qu'avantageuse au point de vue alimentaire ». Millon, dans un travail publié en 1849, se rangea à l'avis de Liebig.

Quelques années après, Poggiale, réfutant le travail de Millon, montra par des expériences directes faites sur deux chiens et une poule que le son traverse les organes digestifs de certains animaux sans subir de digestion appréciable.

M. Rathay, professeur à l'institut royal de Klosterneubourg, dans une expérience faite sur lui-même, montra ensuite que l'enveloppe du grain de blé traverse le canal digestif humain sans être altérée.

En 1852, Mège-Mouriès prouva que le tégument séminal, l'assise digestive, comme on dit aujourd'hui, qui est la partie du son précisément riche en matière azotée, contient une diastase qui a la propriété de solubiliser l'amidon et de rendre le pain gras et lourd.

Maisc'est l'étude faite en 1883 par Aimé Girard, sur la composition chimique et la valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment, qui posa, d'une manière définitive, les conditions scientifiques suivant lesquelles doit se poursuivre la mouture moderne du blé. Dans ce travail, Aimé Girard montra que la presque totalité des matières alimentaires du son est inassimilable par l'homme, que le germe, à côté de la céréaline de Mège-Mouriès, renferme une matière grasse qui rancit facilement et que, par suite, ces deux produits doivent être éliminés de la farine destinée à la panification.

Le travail d'Aimé Girard eut en France et à l'étranger un retentissement considérable; à l'empirisme il substitua la raison scientifique et on peut dire que, dans notre pays, il entraîna l'industrie meunière dans la voie qui l'a conduite au degré de perfectionnement qu'elle possède aujourd'hui.

Depuis cette époque, et pour des raisons diverses, celui qui écrit ces lignes a été amené à reprendre et à compléter les travaux d'Aimé Girard, et les conclusions qu'il a tirées de ses recherches peuvent se formuler ainsi :

1° A tirage égal, les farines obtenues au moyen des cylindres sont toujours supérieures à celles obtenues au moyen des meules;

2° Les farines contenant des débris de l'enveloppe et du germe donnent toujours un pain plus coloré, plus compact et plus hydraté, par suite moins nutritif, que les farines qui n'en contiennent pas.

Cela tient à ce que ces débris apportent avec eux des diastases hydrolysantes et oxydantes qui agissent sur l'amidon et le gluten, les dissolvent, empêchent la levée, rendent la pâte plus lourde et lui permettent de retenir à la cuisson une quantité d'eau supérieure à la proportion normale. Il suit de là que le pain blanc doit être et restera dans l'avenir la base de l'alimentation économique de l'homme sain.

Ces vérités sont aujourd'hui généralement admises; c'est pour satisfaire à leur exigence que se sont installés, dans le moulin à cylindres, tous les appareils perfectionnés de purification de la boulange. C'est là un courant établi qu'on ne remontera pas.

Dès lors, le progrès étant incessant, il faut songer à autre chose. Si bien conduit que soit, actuellement, le travail de mouture, il n'est pas difficile, lorsqu'on l'examine de près, de se rendre compte qu'il appelle des perfectionnements importants. Ces perfectionnements, c'est dans deux directions différentes qu'il est permis de songer qu'ils se réaliseront : la première conduit à une meilleure utilisation des différentes sortes de blé, la seconde nous ramène à la nécessité de modifier, soit le mode de travail, soit la forme des appareils de broyage.

Examinons rapidement le premier cas. L'auteur de ce travail a montré que le gluten, qui donne aux farines de blé leur valeur boulangère, est constitué principalement par deux produits : la *gliadine,* matière jouissant de propriétés agglutinatives spéciales ; la *gluténine,* matière pulvérulente et sèche ; c'est lorsque le gluten offre 75 °/₀ de gliadine, 25 °/₀ de gluténine que la farine qui le contient présente, pour la panification, les propriétés les plus satisfaisantes. Moudre le blé, par conséquent, de façon à obtenir toujours des farines dont le gluten se rapproche autant que possible de la composition indiquée ci-dessus, est le but que le meunier doit essayer d'atteindre. Or, ce n'est pas là chose impossible. En effet, la composition de l'albumen du grain de blé est variable, suivant qu'on s'adresse aux parties du centre ou de la périphérie du grain. Il s'ensuit qu'on peut obtenir

d'un même échantillon de blé des farines dont le gluten a des propriétés variables.

De plus, l'analyse chimique, faite par Aimé Girard et par moi, des différentes variétés de blé, tant françaises qu'étrangères, a montré que non seulement leur composition varie suivant la proportion de gluten qu'ils contiennent, mais que ce gluten lui-même n'a jamais une composition fixe, que tantôt il est riche en gliadine, tantôt riche en gluténine.

Ces observations indiquent que, soit par le mélange rationnel des farines extraites du même blé, soit par le mélange rationnel également de diverses variétés de blé, le meunier pourra résoudre le problème de la production de farines toujours semblables à elles-mêmes et de qualité supérieure, que la boulangerie est en droit d'exiger. Cette recherche implique naturellement l'introduction du contrôle chimique dans le moulin et montre que, si jusqu'ici la science n'a fait qu'expliquer la raison des pratiques de la meunerie, elle lui sert dès maintenant de guide sûr dans la voie du progrès.

Passons à l'étude du second cas. J'ai dit précédemment que, bien que l'échauffement produit par les engins cylindriques soit beaucoup plus faible que l'échauffement produit par les meules, il est encore trop élevé. Cet échauffement a pour effet de commencer la coagulation du gluten, d'en diminuer l'élasticité et par suite la valeur boulangère. Actuellement, on croit y remédier en faisant, sur les divers appareils, une aspiration aussi énergique que possible, aspiration qui a pour effet de refroidir les produits moulus. Mais la théorie du choc permet de prévoir que ce n'est là qu'un palliatif, et elle montre en même temps que le broyeur par projection dit *Record,* exposé par la maison Rose dans la classe 55, ne résout qu'en partie le problème de la diminution de l'échauffement. Les inventeurs, dans la voie des formes nouvelles, peuvent donc se donner libre carrière. Il est probable cependant que là encore c'est la chimie qui apportera la solution nécessaire.

J'ai montré, en effet, que la température de coagulation du gluten est fonction de la proportion d'eau qu'il contient ; lorsque cette proportion est nulle, il peut supporter une température supérieure à 120 degrés sans être altéré ; placer les produits à moudre dans des

conditions physiques telles qu'ils pourront s'échauffer sans préjudice pour leurs propriétés élastiques, telle me paraît être la solution la plus simple et la plus logique du problème défini précédemment. Elle comporte l'annexion au moulin d'appareils de dessiccation spéciaux dont l'étude se poursuit actuellement ; l'avenir dira quels sont les effets qu'on est en droit d'en attendre.

Mais ce n'est pas tout. Lorsqu'on compare, chez les constructeurs français et étrangers, les dimensions des cylindres broyeurs ainsi que le rapport de leurs vitesses différentielles, on est frappé de ce fait que, pour la mouture d'un même blé, on emploie tantôt des cylindres dont les diamètres sont fixes, tantôt des cylindres dont les diamètres vont en croissant, ces cylindres tournant soit à des vitesses différentielles fixes, soit à des vitesses différentielles croissantes. En un mot, aucune règle établie ne préside actuellement à la construction rationnelle de l'engin le plus important du moulin. C'est là un grave défaut. Il est facile de se rendre compte, en effet, par les données de la cinématique, que la courbe relative suivant laquelle travaillent les broyeurs varie considérablement de forme avec les diamètres et avec les vitesses différentielles des cylindres ; il s'ensuit que la façon de travailler un même blé est aussi variable que les maisons de construction sont nombreuses. Il est permis cependant de penser qu'il doit y avoir dans ce cas, comme dans tous les cas techniques, une base rationnelle dont il est imprudent de s'écarter. La recherche de cette base est en ce moment à l'étude ; dans tous les cas, elle fait partie du programme des perfectionnements qui s'introduiront à l'avenir dans le moulin moderne.

Quoi qu'il en soit, dans tous les pays civilisés, actuellement, la mouture du grain a acquis un haut degré de perfectionnement et l'industrie meunière met entre les mains de la boulangerie des farines pures, capables de donner un pain blanc, aussi nutritif qu'il est permis de le désirer. Ainsi que je l'ai dit précédemment, les frais de mouture du blé ne grèvent que d'un centime et demi le prix du kilogramme de pain.

Si, pendant ces dix dernières années, on examine les chiffres qui représentent le prix moyen de 100 kilogr. de farine (*voir le rapport de la classe* 57), on s'aperçoit que ce prix suit une marche généra-

lement décroissante, passant de 37 fr. 07 pour 1890 à 29 fr. 50 pour 1900, en faisant abstraction des années de récolte particulièrement déficitaire.

Cependant, si on compare à ces chiffres ceux correspondants pour les prix du pain, on voit que ceux-ci ne se sont pas abaissés proportionnellement : c'est ainsi que le prix de 2 kilogr. de pain, valant 0 fr. 79 en 1890, vaut 0 fr. 70 en 1900, alors que le calcul montre qu'il aurait dû s'abaisser à 0 fr. 596, soit une différence de 0 fr. 10, en chiffres ronds. C'est là une différence énorme pour un aliment de première nécessité. On répond à cette objection en disant que le prix du pain ne s'élève pas non plus proportionnellement lorsque les farines sont très chères. Cela est sensiblement vrai, mais n'empêche pas qu'il y a là une conception absolument fausse des conditions qui régissent la vente des produits d'une industrie.

La vérité est que la boulangerie est restée réfractaire à tous les progrès et qu'elle a jusqu'ici repoussé les pétrins mécaniques ainsi que les fours à chauffage économique qu'on voit se présenter à toutes les expositions universelles depuis l'année 1867. De plus, les boulangers sont nombreux; par suite, leur fabrication est restreinte et grevée de frais élevés. A Paris, on compte que le prix du kilogramme de pain supporte 0 fr. 095, soit près de 0 fr. 10, de frais de main-d'œuvre, c'est-à-dire six fois plus que le prix de revient de la mouture correspondante.

Il est certain qu'il ne saurait toujours en être ainsi. Tout d'abord, au point de vue hygiénique, la population est en droit d'exiger que la préparation de cet aliment si précieux que constitue le pain soit faite dans les conditions de propreté qu'on demande aujourd'hui à tous les produits appelés à figurer aux repas. Or, il n'y a que l'emploi de la mécanique qui puisse résoudre ce problème, aussi bien que l'abaissement du prix de revient.

Si, au lieu de fabriquer séparément, les boulangers voulaient se syndiquer, être de simples commerçants recevant la marchandise d'une usine centrale montée à l'aide de leurs capitaux, on verrait bientôt la question changer de face. L'ouvrier boulanger conserverait sa santé et le patron, soulagé des soucis de sa fabrication, n'y perdrait rien, au contraire. C'est d'ailleurs une évolution qui se

prépare, et si la corporation des boulangers n'y prend pas garde et ne se met à la tête du mouvement, elle trouvera bientôt en face d'elle la société industrielle qui la dépossédera complètement.

Il est facile alors de calculer l'économie énorme que fera, par suite de ce changement, la population française. Toutes les transformations analogues à celle à laquelle je fais allusion montrent que les frais de fabrication se portant sur une grande quantité journalière, il est facile d'abaisser ceux-ci d'un tiers au moins de leur valeur primitive. Dans le cas actuel, pour Paris, cet abaissement correspondrait au chiffre de 3 fr., et si on admet comme consommation par tête et par jour 360 gr. de pain, on arrive pour chaque Parisien à une économie annuelle de 4 fr., soit à une économie totale de 10 millions de francs. Ces chiffres se passent de commentaires et montrent que l'économie totale qui résulterait en France de ce nouvel état de choses s'élèverait certainement à plus de 100 millions. Ils indiquent, dans tous les cas, que pour répondre aux conditions modernes et pour compléter l'évolution que poursuivent les industries basées sur l'utilisation du grain de froment, c'est au tour de la boulangerie de se lancer résolument dans la voie du progrès.

LES

MICROBES DU SOL

CONFÉRENCE

Faite à l'assemblée générale de la Société nationale d'encouragement à l'agriculture

SÉANCE DU 23 MARS 1905

Par M. E. KAYSER

MAITRE DE CONFÉRENCES DE MICROBIOLOGIE
DIRECTEUR DU LABORATOIRE DE FERMENTATIONS A L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

C'est la seconde fois que j'ai le grand honneur de venir entretenir la Société nationale d'encouragement à l'agriculture sur le rôle joué par les micro-organismes en agriculture. La première fois, je vous ai parlé de ceux qui transforment le sucre de vos fruits (raisins, pommes, poires, cerises, etc.) en alcool et divers autres produits; aujourd'hui, je me propose de vous dire un mot de ceux qui concernent plus spécialement l'agriculture proprement dite, c'est-à-dire le sol, le support de tous nos végétaux.

Lorsque votre honorable et sympathique vice-président, M. Grandeau, m'a proposé ce sujet, je ne me suis guère dissimulé toutes les difficultés de ma tâche, difficultés résultant aussi bien de l'étendue de toutes ces actions microbiennes dans le sol que de toutes les hypothèses que nous sommes obligés de faire pour avoir une explication

à peu près convenable des phénomènes que la pratique agricole nous montre tous les jours.

Les infiniment petits tiennent sous leur dépendance toutes les fonctions vitales à la surface terrestre ; sans leur intervention variée, toute vie serait impossible. Leur activité s'étend sur toute la transformation de la matière organique dans le sol, quelle que soit son origine ; ce sont eux qui la désagrègent, qui la solubilisent et l'amènent aux termes les plus simples : eau, acide carbonique, ammoniaque, azote, c'est-à-dire aux formes assimilables par les végétaux supérieurs.

Nous devons donc passer en revue tout le cycle parcouru par la matière organique, hydrocarbonée et azotée. Seulement, comme l'azote est pour le végétal l'aliment le plus utile, en même temps que l'engrais le plus cher, c'est la dégradation de la matière azotée que nous allons surtout envisager.

Ce sont les travaux de notre illustre Pasteur, vers 1860, qui ont donné à toutes ces études sur les microbes la véritable impulsion scientifique ; jusqu'alors, abstraction faite de ceux de la fermentation alcoolique étudiés par Gay-Lussac, Schwann, Cagniard-Latour, on les considérait comme ne jouant aucun rôle en agriculture.

Grâce aux travaux de MM. Schlœsing et Müntz, Warington, Winogradsky, nous connaissons leur rôle dans les phénomènes de la nitrification ; d'autre part, MM. G. Ville, Hellriegel et Wilfarth, Winogradsky et d'autres nous ont appris leur intervention dans la captation de l'azote atmosphérique.

Nous savons aujourd'hui d'une façon certaine que le sol est l'habitat d'un grand nombre de micro-organismes, les uns sûrement utiles à l'agriculture, d'autres affectant un rôle indifférent, d'autres sûrement nuisibles.

Nous savons, par la physiologie végétale, que c'est sous la forme de sels ammoniacaux ou de nitrates que l'azote est le plus facilement pris par les végétaux ; l'autre source d'azote, soupçonnée depuis longtemps pour les légumineuses : l'utilisation de l'azote atmosphérique, n'a été clairement démontrée que depuis une douzaine d'années. Nous connaissons des microbes qui amènent la matière organique azotée complexe par échelons successifs jusqu'au terme AzH^3 (ammoniaque), d'autres qui transforment cette ammo-

niaque en acide nitreux et en acide nitrique; un troisième groupe ramène cet acide nitrique en produits azotés divers, en azote, en ammoniaque; c'est le phénomène inverse; enfin, l'azote mis en liberté peut être récupéré par certains microbes vivant en symbiose avec les légumineuses ou les algues ou encore jouissant à eux seuls de ces facultés fixatrices d'azote.

D'une façon générale, nous pouvons dire que tous ces divers microbes se trouvent en plus ou moins grande abondance dans tous les sols. Leur nombre varie avec la nature du sol, la saison, l'état de culture, la profondeur, etc.

La terre humifère, la terre fumée en contient plus que la terre siliceuse ou non fumée; on en trouve plus après la jachère qu'après une culture de céréales; leur nombre diminue avec la profondeur; ainsi on en trouve moins à $2^m,50$ ou 3 mètres de profondeur que dans les couches superficielles. Nous devons toutefois ajouter que les nombres ainsi trouvés ne présentent qu'une valeur relative, car il est certain que beaucoup de microbes refusent de pousser dans les milieux de culture habituels.

Pour se faire une idée des microbes contenus dans un sol, on mélange un petit volume ou un faible poids de terre avec 10, 20 centimètres cubes de bouillon de viande gélatinisé et on abandonne à 18° à 20°; là où se trouve un germe, il se multipliera; il se formera un amas de microbes, une colonie qui deviendra bientôt visible à l'œil nu, comme vous le voyez dans ces boîtes du Dr Roux que je fais passer sous vos yeux. Il importe seulement d'opérer en dilution assez forte, afin que les colonies ne se touchent pas trop; on peut procéder à l'énumération au bout de huit à dix jours. Dans le sol, il y a toujours des microbes qui liquéfient la gélatine; ils risquent de donner lieu à des mélanges où toute énumération devient impossible; il en est de même des moisissures qui s'étalent en surface, qui étouffent les autres colonies microbiennes; on les arrête dans leur développement en les touchant au nitrate d'argent. Mais, comme il y a des microbes qui ne poussent pas sur les milieux habituels, comme il y en a qui n'aiment pas la présence de l'oxygène atmosphérique, nous n'aurons ainsi qu'une idée approximative des microbes du sol.

On peut en effet diviser les microbes en deux grandes classes : ceux qui aiment l'oxygène, ce sont les *aérobies* ou *aérophiles*, et ceux qui ne l'aiment pas : les *anaérobies*. Dans le sol, il existe beaucoup de ces derniers, même des microbes pathogènes que nous ne pourrons cultiver qu'en nous mettant à l'abri de l'oxygène en faisant le vide dans nos cultures

Cette étude nous apprend qu'un gramme de terre humide peut contenir 1, 2, 3, 40 et jusqu'à 50 millions de germes. Leur nombre varie avec le sol, avec le mode de culture, etc. ; ainsi, certaines terres labourées renferment, par centimètre cube, 6 millions de bactéries, des prairies peuvent en contenir jusqu'à 10 et 12 millions.

Comme la matière organique est la condition essentielle pour l'existence des microbes, plus il y en aura, plus nous trouverons de microbes ; ainsi, dans le fumier de ferme, leur nombre peut atteindre, par centimètre cube, 20, 30, 40 millions. Ces chiffres n'ont rien d'extraordinaire, si l'on réfléchit que certains microbes se doublent, dans de bonnes conditions de culture, en l'espace de vingt à trente minutes et peuvent donner naissance à 30, 40 et 50 générations successives dans les vingt-quatre heures.

Pour ce qui concerne maintenant la flore microbienne, on peut dire que toutes les bactéries connues peuvent se rencontrer dans le sol : parasites et saprophytes, ferments de la cellulose, des sucres, des matières azotées, etc. On y trouve également les formes les plus variées, celles de la moisissure, des levures, des bactéries, les unes liquéfiant la gélatine, les autres ne la transformant pas. On en trouve des espèces caractéristiques dans les sols calcaires et d'autres dans les sols acides ; il y en a une qui est fort intéressante : c'est l'*actinomyces odorifer*, qui nous donne cette bonne odeur de la terre fraîchement labourée.

Voyons maintenant comment la matière organique est transformée par ces divers agents microbiens et commençons par celle du fumier de ferme.

Cet engrais est un mélange très complexe d'hydrates de carbone et de matières azotées provenant, soit des excréments solides et liquides des animaux domestiques, soit de la litière.

Les infiniment petits y pullulent; ils ont pour origine la litière ou encore ils proviennent de l'intestin des animaux.

Le travail de décomposition, surtout à la température de l'écurie, de l'étable, est des plus intenses, mais se continue dans le tas de fumier; l'intelligence du cultivateur, les soins qu'il apporte à son fumier sont pour beaucoup dans la régularisation de ces fermentations microbiennes.

Ainsi le tassement a déjà une grande importance; dans les couches superficielles, ce sont les aérobies aidés par les agents atmosphériques qui opèrent; dans les couches profondes, ce sont les anaérobies. Le cultivateur peut diriger la fermentation dans un sens favorable et nous n'avons pas besoin de rappeler que l'oubli de l'arrosage régulier et méthodique peut devenir pour le cultivateur la cause de pertes d'azote s'élevant à 25 et jusqu'à 50 °/₀. C'est dans les couches profondes, sous l'influence des anaérobies, que nous obtenons le mieux ces transformations désignées sous le nom de fumier bien fait.

Lorsque nous apportons ce fumier plus ou moins transformé au sol, il agit d'abord en changeant les propriétés physiques de celui-ci; il influe ainsi indirectement sur les fonctions transformatrices des microbes, favorisant de préférence l'une ou l'autre espèce, mais il agit encore directement en apportant les matières alimentaires, sources nécessaires et indispensables de toute action vitale.

Dans le tas de fumier, une partie de la matière azotée est amenée jusqu'au terme ammoniaque; l'urée, l'acide hippurique deviennent très facilement la proie des microbes spécifiques, des ferments ammoniacaux très répandus notamment dans le sol, comme l'ont montré MM. Müntz, Coudon et Marchal.

Ces ferments nous sont connus depuis les expériences de Pasteur (1862); le premier étudié fut le *micrococcus ureæ*; depuis lors, leur nombre a considérablement augmenté; on en connaît une soixantaine. On les trouve dans le fumier, le purin, les eaux et le sol, agent dans lequel 20 °/₀ jouissent de la propriété de transformer l'urée en carbonate d'ammoniaque. Il y en a qui sont des moisissures, d'autres des bactéries; ils se différencient par leur énergie fermentative : l'*urobacillus Pasteurii* peut transformer par heure jusqu'à 3 grammes d'urée en sel ammoniacal.

Ce carbonate d'ammoniaque est facilement dissocié à l'air et il peut en résulter des pertes à l'étable, à la bergerie. C'est Dehérain qui nous a appris que cette perte peut être réduite à son minimum, en maintenant dans le fumier, grâce au tassement, une fermentation microbienne active. Dans ces conditions, la production d'acide carbonique est abondante et cet acide retient l'ammoniaque mise en liberté.

L'ammoniaque formée peut être saisie par un premier groupe de microbes qui, par suite de leurs simples fonctions vitales, la transforment en matières albuminoïdes complexes, en tissus vivants; d'autres la transforment en nitrates.

Nitrification

Jusqu'en 1873, la nitrification était considérée comme un phénomène purement chimique. C'est à cette époque qu'Alexandre Muller exprimait le premier l'idée qu'il pouvait être vital, fait dont l'évidence fut clairement démontrée par les belles recherches de MM. Schlœsing et Müntz. Ces savants constatèrent qu'une terre qui fournissait aux dépens de l'ammoniaque de grandes quantités de nitrates perdait cette propriété lorsqu'on la soumettait, soit à l'action des vapeurs de chloroforme, soit encore à un chauffage à 100°; Warington est arrivé à ce même résultat par le sulfure de carbone. Le phénomène est donc dû à une action vitale.

Grâce à ces recherches, nous savons que les meilleures conditions de la nitrification sont la présence de l'oxygène, d'une matière organique ammoniacale, d'une base et d'un ferment spécifique dont l'action est influencée plus ou moins fortement par la température et un certain degré d'humidité. On comprend qu'un excès d'eau gênant l'arrivée de l'oxygène peut empêcher la nitrification. Elle est lente à 5°, appréciable à 12° et très intense vers 32° à 35°.

Winogradsky est arrivé le premier à isoler ces ferments en appliquant la méthode élective qui consiste à accumuler le microbe spécifique dans un milieu de culture artificiel, en lui offrant les meilleures conditions alimentaires.

Ce savant a démontré incidemment que ces microbes ne se laissent

pas cultiver sur nos milieux de culture habituels, qu'on peut au contraire les voir se développer sur un support de silice gélatineuse additionnée de principes minéraux. Winogradsky fournit également la preuve que la formation des nitrates dans le sol est une fonction spécifique et qu'elle se fait en deux stades : la production de nitrates aux dépens du sel ammoniacal et la production de nitrates aux dépens des nitrites. Winogradsky a étudié diverses terres et en a isolé les ferments nitreux qu'il divise en deux groupes : les *nitrosomonas* et les *nitrococcus*, suivant qu'ils sont doués de motilité ou non. Les ferments mobiles sont munis de cils qui leur permettent de se mouvoir ; ils se distinguent par la longueur de ces cils, leurs dimensions et leur énergie fermentative ; ainsi les ferments nitreux d'Afrique sont plus actifs que ceux d'Europe.

Chaque sol contient un seul ferment nitreux limitant son action à la transformation du sel ammoniacal en nitrite. Tous les sols ou presque tous contiennent également la *nitro-bactérie* ou ferment nitrique, qui est la même dans tous les sols ; elle est donc *unique* et a pour fonction de changer l'acide nitreux en acide nitrique.

Les ferments nitreux ont de 0,9 à 1 μ de largeur (le μ est la millième partie du millimètre) sur 1,2 à 1,8 μ de longueur ; l'appendice ciliaire peut quelquefois atteindre 20 à 30 μ ; la nitro-bactérie n'a que 0,12 μ à 0,15 μ comme dimensions.

Winogradsky et Omeliansky constatèrent en outre que ces ferments sont aérobies et assez sensibles à la matière organique ; c'est ce qui permet de s'assurer de leur pureté en les ensemençant dans du bouillon de viande, milieu dans lequel ils ne se développent pas.

Godlewsky nous a fait connaître une particularité très intéressante de ces ferments, c'est celle que présentent des ferments nitreux de décomposer l'acide carbonique à l'obscurité, propriété que nous ne trouvons que chez les végétaux ayant de la chlorophylle ou des algues et chez les micro-organismes à pigment coloré, grâce auquel ils sont aptes à décomposer cet élément en profitant des rayons solaires.

La source d'énergie nécessaire à cette décomposition réside dans la chaleur qui se dégage lorsqu'ils oxydent l'ammoniaque ; pour assimiler 1 milligramme de carbone, ces ferments nitreux doivent

oxyder 42 milligrammes d'ammoniaque qui correspondent à 96 milligrammes d'acide nitrique.

L'étude de la nitrification a été reprise à Lille par MM. Boullanger et Massol. Ils ont constaté que le ferment nitreux peut agir dans des concentrations de 30 à 50 grammes de sulfate d'ammoniaque par litre et la nitro-bactérie dans des solutions de 8 à 10 grammes de nitrite de potasse par litre. Cette dernière paraît donc à cet égard plus sensible.

Ces microbes sont excessivement répandus dans la nature et ils sont facilement disséminés par le vent ; ce sont eux qui détruisent progressivement les roches calcaires (Faulhorn des Alpes), faisant du nitrite et du nitrate de chaux que l'eau pluviale enlève ; ce sont eux encore que MM. Müntz et Aubin ont rencontrés dans les lieux les plus déserts (Pic du Midi).

S'ils travaillent dans des conditions où la matière organique est à un faible taux, on les trouve également dans les terres de bruyère dans les eaux d'égouts, milieux riches en matières organiques. C'est Boullanger et Massol qui nous ont appris que dans ces dernières conditions ils agissent en symbiose.

La nocivité de la matière organique pour le ferment nitreux, celle de l'ammoniaque pour le ferment nitrique n'existent pas au même degré pour le ferment adulte et le ferment jeune. Dans la nature nous nous trouvons toujours en présence de supports peuplés de diverses générations microbiennes de divers âges, et ainsi la nitrification une fois commencée peut devenir tellement intense que souvent on ne constate pas le stade intermédiaire : l'acide nitreux.

De toutes ces conditions favorables à la nitrification que le cultivateur a à sa disposition, la plus importante réside dans l'ameublissement, la trituration du sol, opération qui facilite l'accès de l'air. Il y arrive par des labours répétés, par les drainages ; il peut de plus favoriser les ferments par un chaulage qui fournit une base destinée à saturer l'acide formé, par l'apport de fumiers bien faits, c'est-à-dire de matières organiques suffisamment transformées.

Ces conditions réalisées, les ferments nitreux et nitrique remplissent aisément le rôle qui leur est dévolu dans la nature, à savoir celui de permettre la croissance et la culture des végétaux supérieurs.

Dénitrification

Les microbes dénitrificateurs sont ceux qui défont l'œuvre des nitrificateurs ; ils dissocient la molécule des nitrates en nitrites, composés oxygénés divers de l'azote (protoxyde d'azote Az) et quelquefois ammoniaque, et il peut en résulter une perte souvent sensible pour l'agriculteur.

M. Schlœsing père a le premier signalé ce phénomène dans le sol, et depuis lors de nombreux savants se sont occupés de cette question.

Ainsi, vers 1882, MM. Gayon et Dupetit, à Bordeaux, ayant mélangé de l'eau du canal additionnée de nitrate de potasse avec de l'eau d'urine en décomposition, trouvèrent que le nitrate était réduit à l'état de nitrite.

Ces dénitrificateurs sont excessivement abondants dans la nature ; ils existent partout où il y a de la matière organique : dans le fumier frais de cheval, de mouton ; dans la paille, dans les eaux et dans le sol, on en connaît déjà une trentaine d'espèces, les uns décomposant les nitrates jusqu'au terme « nitrite », les autres l'amenant au terme « azote gazeux ».

Pour montrer leur existence, il suffit de se servir d'un liquide minéral contenant du glucose, du citrate de chaux, du phosphate de potasse, sulfate de magnésie, chlorure de calcium et un nitrate ; on y ajoute une trace de fumier de cheval frais et on abandonne à 30° ; déjà au bout de vingt-quatre heures on peut observer la formation d'une mousse abondante avec dégagement gazeux : azote, CO^2 (acide carbonique), quelquefois AzH^3HH^2S (sulfhydrate d'ammoniaque) avec formation d'un carbonate alcalin.

Les conditions essentielles pour que ces microbes plutôt nuisibles à l'agriculture se développent sont donc la matière organique et les nitrates ; les espèces aérobies paraissent dominer et leur action peut être expliquée par le besoin de l'oxygène qu'ils enlèvent aux nitrates en les décomposant.

Quelle est maintenant l'importance de ces dénitrificateurs au point de vue agricole ? Bréal en France, Wagner en Allemagne y ont de nouveau appelé l'attention, il y a une douzaine d'années.

Ce dernier savant a surtout signalé le fait que le nitrate de soude employé en même temps que du fumier de cheval ne donnait nullement les rendements qu'on était en droit d'espérer, et il l'attribue à l'action néfaste exercée par les dénitrificateurs. On exagéra tellement leur rôle et leur importance qu'on alla jusqu'à préconiser l'addition d'acide sulfurique au fumier pour les empêcher d'agir.

C'était empêcher toute action vitale dans cet excellent engrais qui, pour devenir utilisable par le végétal, nous l'avons vu, doit subir au préalable des actions microbiennes diverses. Ce sont notamment les expériences de Dehérain qui ont réduit à néant les craintes exagérées basées sur l'action des dénitrificateurs.

On peut dire que, dans les conditions normales, ces microbes ne jouent qu'un rôle secondaire ; la première condition de leur fonctionnement réside surtout dans la matière organique dont l'abondance est plutôt nuisible aux nitrificateurs : pas de nitrate, pas de perte en azote, pas d'action nuisible des dénitrificateurs.

Ceci dit, il convient d'ajouter que le fumier, le purin sont des éléments favorisants pour eux et de ce chef il est prudent de ne jamais mettre du nitrate en même temps que du fumier et de retenir également que les effets désastreux constatés l'ont été en présence de quantités considérables de fumier, telles qu'on ne les trouve jamais dans la pratique.

L'expérience a également démontré que le fumier bien fait dénitrifie peu, car il y reste peu d'hydrates de carbone bien appropriés aux dénitrificateurs. Une humidité exagérée, comme l'a montré M. Giustiniani, paraît favoriser ces microbes et dès lors on comprend facilement comment un fumier fraîchement étalé qui subit l'action des eaux pluviales les dissémine et aide à leur multiplication ; par contre, le fumier étalé et ensoleillé dénitrifie moins, la lumière détruisant ces microbes ; mais leur action ne devient jamais nulle, même dans un sol desséché, au point d'empêcher tout phénomène de nitrification.

Par le tassement, on peut les favoriser également et c'est ainsi qu'une terre bien nitrifiante peut être transformée avec le temps en milieu réducteur. En résumé, nous voyons que toutes les causes favorables à la dénitrification sont plutôt défavorables à la nitrification et



inversement. Une partie de l'azote des matières quaternaires peut devenir matières albuminoïdes, une autre devient azote gazeux : nous allons la récupérer par voie microbienne.

Fixation de l'azote

Si l'on compare l'azote apporté au sol par les engrais, par l'atmosphère, et celui qui est emporté par les récoltes, les eaux de drainage, par les décompositions de toutes sortes, on trouve que les pertes dépasseraient de beaucoup les gains, s'il n'existait pas une source rétablissant l'équilibre et pouvant même enrichir le sol en azote; cette source, longtemps soupçonnée, est celle de l'azote atmosphérique.

Il est presque superflu de signaler à nouveau les essais classiques de Rothamstedt où l'on a obtenu des récoltes continues sans apport d'engrais azoté; de citer l'exemple des forêts, des pâturages des Alpes, etc., pour prouver que la source de restitution existe réellement.

Il convient de dire qu'une partie de l'azote atmosphérique peut être récupérée, grâce aux actions électriques de l'atmosphère, sous la forme de nitrites; on peut l'évaluer à 11, 12 kilogr. par hectare et par an. Les expériences classiques de Schultze, à Lupitz (Allemagne), ont également démontré d'une façon irréfutable le rôle améliorant exercé par les légumineuses. Mais on a été très longtemps sans pouvoir apporter la preuve de l'assimilation directe de l'azote atmosphérique. Deux groupes de microbes interviennent ici : ceux qui vivent en symbiose avec les légumineuses et ceux qui fixent l'azote à eux seuls.

a) Fixation d'azote par les microbes des nodosités des légumineuses. — G. Ville, le premier, fut tout près de pouvoir prouver cette fixation de l'azote gazeux, mais ce sont les belles recherches de Hellriegel et Wilfarth, en Allemagne, qui ont apporté la solution définitive du problème, en montrant l'intervention directe des microbes dans cette fixation.

Ayant cultivé des légumineuses dans du sable calciné additionné

de principes minéraux, ils ont signalé sur les racines des plantes la formation de nodosités et nous ont fait connaître la relation intime qui existe entre leur formation et l'augmentation de récolte et la fixation de l'azote.

Il faut ajouter que les nodosités nous sont connues depuis fort longtemps. Tantôt on leur attribua un rôle physiologique, tantôt on les considéra comme des phénomènes pathologiques. Woronine les a étudiées en 1864; M. Prillieux, en France, vers 1878, MM. Frank et Prazmowsky, à l'étranger, y ont signalé la présence d'êtres vivants. On savait aussi qu'elles ne se produisaient pas en sol stérile et on en conclut que leur formation était due à une infection venant du dehors; ce furent les savants allemands, nous l'avons dit, qui établirent leur rôle véritable vers 1888.

Mais il resta quelques doutes et la question fut reprise à Paris par MM. Schlœsing fils et Laurent. Ils cultivèrent des légumineuses dans un terrain nutritif sans azote, stérilisé en présence d'une atmosphère confinée dont la composition était connue. L'ensemencement fut fait avec un peu de délayure de terre ayant porté des légumineuses. L'azote fut dosé au début dans l'air, dans la semence et à la fin dans l'air, dans le sol et dans la récolte obtenue. Celui qui avait disparu de l'atmosphère fut retrouvé dans la plante et dans le sol.

Ward a montré qu'on peut reproduire ces nodosités par l'addition du contenu d'une nodosité à une culture de légumineuse en milieu liquide; Beijerinck et Prazmowsky en ont fait des cultures sur milieux artificiels qui, inoculées par piqûre à une racine de légumineuse, reproduisaient la nodosité. La culture de ces microbes est d'ailleurs très facile sur toutes les macérations de légumineuses additionnées de gélose; on a ainsi un milieu solide qui, placé à 30°, permet leur multiplication très rapidement.

Lorsqu'on inocule ces microbes, qu'ils proviennent du sol ou d'un milieu artificiel, ils pénètrent dans la plante par le poil radiculaire, attirés sans doute en vertu de leurs propriétés chimiotaxiques; en coupe microscopique, on trouve bientôt un véritable filament formé par la masse des microbes qui pénètrent peu à peu jusqu'aux cellules corticales et se propagent dans les divers sens; la masse bactérienne présente un aspect plus ou moins glaireux, signe caractéristique de

la fixation de l'azote, et bientôt la nodosité, par suite de ces transformations successives, est visible à l'œil nu. Le microbe, qui dans les premiers moments affecte une forme bacillaire, allongée, se transforme peu à peu et on voit alors au microscope des formes en Y, T, en doigts de gant. On les désigne sous le nom de *bactéroïdes ;* c'est le stade sous lequel le microbe est véritablement utile pour la légumineuse. Si la transformation n'a pas lieu ou si la bactéroïde est anormale, il n'y a pas assimilation d'azote ; ces formes « bactéroïdes » ont été également observées dans les milieux artificiels, grâce à l'addition de phosphates acides ou d'acides organiques aux milieux de culture.

Il semble exister des bactéries spécialement adaptées aux terrains calcaires (on les trouve dans les nodosités des pois, du trèfle, du haricot, etc.), d'autres plus adaptées aux terrains acides, comme sur le lupin. La question de l'espèce microbienne, ainsi que les états sous lesquels ils vivent dans le sol, ne sont pas encore suffisamment éclaircis pour ces microbes.

b) ***Fixation d'azote sans symbiose.*** — M. Berthelot a signalé le premier, vers 1885, que la terre abandonnée à elle-même s'enrichissait en azote ; il avait, dans un essai, trouvé, par 50 kilogr. de terre, fixation de 5 à 10 grammes d'azote, dans un intervalle de sept mois ; ces faits furent confirmés par Laws et Gilbert, Pagnoul, Dehérain, Kühn et Kossowitsch.

Dans le même ordre d'idées, il convient de dire que M. Henri a obtenu une fixation d'azote en abandonnant des amas de feuilles de chêne et de hêtre.

Winogradsky a obtenu le premier à l'état pur, en culture artificielle, une bactérie apte à assimiler l'azote atmosphérique. Il est parti de ce principe si fécond que, du moment qu'il existe dans le sol des microbes fixateurs d'azote, on doit pouvoir les cultiver dans des milieux dépourvus d'azote, à la condition de leur fournir de l'énergie hydrocarbonée. L'expérience a confirmé cette manière de voir.

Le *Clostridium Pasteurianum* ainsi isolé est un microbe anaérobie ; il vit souvent en symbiose avec des aérobies, qui ont pour effet de lui

supprimer l'oxygène qui serait pour lui un antiseptique ; ce microbe a pu fixer jusqu'à 30 milligrammes d'azote en vingt jours.

Beijerinck, le savant hollandais, nous en a fait connaître deux autres jouissant des mêmes propriétés, l'*azotobacter chroococcus* et l'*azotobacter agilis*. Ces mêmes microbes ont été retrouvés — ils paraissent être très répandus — en Allemagne et en Suisse. M. de Freudenreich, en Suisse, a pu obtenir une fixation de 127 milligrammes d'azote pour 12 grammes de glucose détruit.

Mécanisme de l'assimilation. — Les expériences de Winogradsky nous ont appris que le microbe n'assimile de l'azote que tant qu'on lui fournit une source de chaleur, le sucre ; il existe même un certain rapport entre ces deux facteurs.

Ainsi pour le *Clostridium Pasteurianum*, le rapport entre le sucre utilisé à l'azote assimilé est 1 000 à 1,5 à 1,8 ; c'est-à-dire : il faut beaucoup de sucre pour peu d'azote fixé.

Nous pouvons appliquer le même raisonnement aux microbes vivant en symbiose avec les légumineuses ou avec les algues ; ce sont les végétaux supérieurs qui fournissent l'hydrate de carbone nécessaire à l'assimilation.

Il a été démontré par les expériences de Kossowitsch, Bouillac, Schneidewind et Charpentier que les algues seules sont inaptes à assimiler l'azote gazeux ; elles n'agissent qu'indirectement par l'hydrate de carbone fourni aux microbes ; tout ce qui les favorise, comme la lumière, entraîne une plus forte assimilation d'azote, comme cela résulte des expériences de MM. Dehérain et Demoussy. Les cultures artificielles des microbes des nodosités ont montré à Beijerinck et Mazé que le rapport entre le sucre et l'azote était plus faible qu'avec le microbe de Winogradsky ; ce rapport se maintenait ici entre 100 à 1.

L'air paraît favoriser l'assimilation dans les cas de symbiose ; c'est pour cette raison que les jardiniers préfèrent la terre soulevée par les taupes ; elle est bien ameublie et oxygénée.

Nous ne possédons que peu de données sur la manière dont la légumineuse utilise l'azote fixé et qui lui est offert par la bactéroïde ; il se peut que la plante tire parti des produits de désassimilation du

microbe et qu'elle est ainsi alimentée pendant toute la durée vitale de la bactéroïde.

Applications dans la pratique. — Dès que l'on connut les propriétés assimilatrices d'azote des microbes dont nous venons de parler, il était tout indiqué de rechercher si l'on pourrait en tirer un profit pratique en les ensemençant dans le sol ; on espérait ainsi cultiver des légumineuses dans les terrains impropres jusqu'alors à cette culture.

Salfeld, le premier, en Allemagne, fit cette tentative ; il essaya la culture du trèfle dans des terrains tourbeux préalablement améliorés par des façons culturales répétées et par l'emploi d'engrais appropriés, sans aucun résultat ; mais il obtint de bons rendements par l'apport de terre de légumineuses. Comme le transport de grandes masses de terre était coûteux, il songea à infecter le sol ou les semences avec des cultures microbiennes obtenues en milieu minéral.

Ces semences artificielles (nitragine) furent préparées en grand sous les auspices de MM. Nobbe et Hiltner.

On cultiva ces bactéries sur des milieux gélatinisés qu'on délaya dans l'eau et on en injecta une petite quantité de terre, de même que les graines, avant de les apporter au champ.

Les résultats furent tantôt positifs, tantôt négatifs. M. Schribaux, en France, a également essayé la nitragine dans du sable de Fontainebleau, dans la terre de bruyère et dans une terre calcaire de Champagne. Ce savant a constaté que dans les terres pauvres en azote, dépourvues de bactéries, l'emploi de la nitragine pouvait augmenter la récolte dans des proportions assez considérables ; par contre, dans les terres cultivées de longue date en légumineuses, il n'y avait pas de résultats marqués. Ces constatations furent confirmées une année après par MM. Dickson et Malpeaux, dans le Pas-de-Calais.

Après une assez longue période d'arrêt, les essais furent repris, il y a deux à trois ans, par Nobbe et Hiltner en Allemagne et aux États-Unis. Hiltner attribue les insuccès à une application irrationnelle de la nitragine. Il fait voir que les sécrétions des graines en germination sont nuisibles aux bactéries des légumineuses ; aussi, conseille-t-il d'infecter ces graines seulement après les avoir laissé se gonfler ; de

plus, il aide au développement des microbes par l'addition de solutions de sucre, de peptone ou de lait. Ces substances favorisent la multiplication des microbes et compensent en quelque sorte l'effet nuisible des sécrétions des graines. Hiltner tient grand compte de l'origine du microbe, de sa virulence, de son énergie, qu'il développe par une série de générations successives et en se servant toujours de microbes isolés de nodosités de la légumineuse qu'il veut cultiver. Grâce à ces perfectionnements, les résultats positifs, c'est-à-dire l'augmentation de rendement, atteignent 54 °/₀.

Dans le même ordre d'idées, on a voulu utiliser et propager les microbes fixateurs d'azote sans symbiose, en se basant sur les expériences de Caron, en Allemagne. Ces microbes furent également cultivés en grand et vendus sous le nom d'alinite ; mais on n'obtint que des résultats négatifs et bientôt leur culture fut abandonnée. Il est même probable que le microbe de l'alinite, le *Bacillus Ellenbachensis,* est incapable d'assimiler l'azote et qu'il a surtout pour effet de rendre plus solubles et plus assimilables par la plante certains principes azotés du sol.

On n'a pas obtenu de meilleurs résultats par l'emploi des azotobacters de Beijerinck, mais rien ne nous autorise à les rejeter complètement ; des expériences toutes récentes faites en Angleterre avec ce même microbe paraissent être très encourageantes.

Il est fort possible que tous ces microbes se trouvent en suffisante quantité dans le sol et qu'il n'y a qu'à changer les propriétés du sol par des drainages, amendements divers, etc., pour obtenir des effets utiles.

Il me reste encore un mot à dire sur le phénomène désigné sous le nom de « fatigue du sol » qui consiste dans ce fait qu'au bout d'un certain nombre de cultures, il devient impossible de faire pousser la même plante sur le même sol. Tantôt, ce phénomène a été attribué à une flore microbienne trop riche, tantôt on l'a mis au compte des sécrétions microbiennes ; ce sont ces deux interprétations qui cadrent le mieux avec l'effet efficace constaté par l'emploi du sulfure de carbone.

Il suffit de rappeler ici les expériences très intéressantes de A. Girard et Pagnoul, en France, d'Oberlin, en Alsace, et celles plus récentes de Hiltner, en Allemagne.



Ce dernier savant a prouvé qu'après le traitement au sulfure de carbone, l'équilibre microbien du sol est sensiblement modifié, au profit des espèces les plus résistantes; ce seraient les dénitrificateurs et les nitrificateurs qui seraient surtout atteints; peu à peu, cet équilibre est rétabli au bout de quelques années. Peut-être aussi le sulfure de carbone agit-il comme un excitant sur les facultés absorbantes des racines; cette hypothèse a été également émise, sans que jusqu'à présent nous puissions nous rallier d'une façon définitive à l'une ou l'autre manière de voir.

En résumé, nous voyons que le sol est le siège de nombreuses décompositions qui se font d'une manière continue, que son ameublissement ou son tassement ont la plus grande influence sur l'activité microbienne.

Dans les sols légers, l'ensemencement de la nitragine peut donner de bons résultats; par contre, les fixateurs d'azote sans symbiose seraient plutôt à essayer dans les terres fortes.

Ce sont, retenons-le, ces infiniment petits qui détruisent tous les résidus animaux et végétaux du sol, qui rendent la vie possible, car c'est sous leur influence que la matière organique complexe est ramenée à sa forme simple, utilisable par le végétal supérieur, c'est-à-dire acide carbonique, azote, ammoniaque et eau.

Beaucoup de faits restent encore obscurs, beaucoup attendent une explication, exigent une réponse; mais nous le comprenons facilement, si nous réfléchissons que l'expérimentateur n'est guère maître de ce milieu complexe qui constitue la terre arable; nous le concevons encore mieux si nous ajoutons que la bactériologie agricole est une science jeune qui n'a pas plus de vingt ans d'existence. Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus jusqu'à présent sont des plus encourageants.

L'étude de ces micro-organismes dans leurs diverses manifestations vitales permettra certes un jour d'en tirer le plus grand profit au point de vue agricole; il ne faudra pas se départir de cette féconde méthode expérimentale qui nous a été indiquée par Pasteur; il faudra y joindre la patience, condition première de réussite.

En effet, les études de laboratoire nous ont déjà permis, nous l'avons vu pour la nitrification, pour l'assimilation de l'azote, d'ex-

pliquer certains faits constatés depuis longtemps dans la pratique ; ici, nous sommes tout à fait maîtres des conditions de culture et de milieu. Ce sont ces recherches qui nous permettront d'approfondir cet enchaînement, cette liaison intime qui existe entre les conditions biologiques du végétal et du microbe, qu'il vive dans le sol ou qu'il soit fixé à la racine du végétal, ou se maintienne dans son voisinage immédiat. L'avenir nous apportera peut-être des faits très intéressants à cet égard.

Je crains, Messieurs, d'avoir beaucoup abusé de vos moments. Je vous adresse tous mes remerciements pour la bienveillante attention avec laquelle vous avez suivi cet exposé un peu aride.

LE MONDE DES INFINIMENT PETITS

ET L'AGRICULTURE

Par LOUIS GRANDEAU

---

1. — Notions générales sur les microbes

L'atmosphère, les eaux et la terre sont peuplées d'un nombre incommensurable d'êtres qui, par leur infinie petitesse, échappent à nos sens. Ces micro-organismes, comme on les appelle (levures, algues, bactéries, bacilles, vibrions, etc.), tiennent sous leur dépendance, pour ainsi dire absolue, les phénomènes dont les animaux et les plantes sont le siège. Il n'est, en effet, pas de manifestation vitale où n'intervienne l'action des infiniment petits. Tantôt indispensable aux actes de nutrition et bienfaisant, par conséquent, tantôt nuisible ou mortel suivant la nature des microbes, leur rôle nous apparaît chaque jour plus étroitement lié à l'existence des êtres vivants. Quand survient la mort de l'animal ou de la plante, ce sont encore les bactéries, vibrions, etc., qui désagrègent intégralement toute substance qui a vécu : par leur intermédiaire, les éléments minéraux, source première de toute organisation, sont libérés : ils font retour à l'air et au sol sous les formes les plus simples : eau, acide carbonique, ammoniaque, pour servir d'aliments à de nouvelles générations.

Ce monde des infiniment petits est demeuré inconnu à l'homme pendant une longue succession de siècles, jusqu'à la découverte du microscope. En 1590, deux fabricants de verres de lunettes, Jean et Zacharie Janssen, imaginèrent une simple combinaison de lentilles,

qui tout imparfaite qu'elle était, armait l'œil d'un moyen d'investigation dont les perfectionnements successifs ont doté la science du microscope, admirable instrument qui a révélé l'existence, dans tous les milieux qui nous entourent, d'êtres innombrables peuplant le sol, les eaux, l'air et les organismes vivants ou morts.

Vers 1671, Athanasius Kircher fut le premier observateur qui donna quelques indications précises au sujet de l'existence d'êtres microscopiques. Il les décrivit sous le nom de « vermisseaux », après les avoir vus en grand nombre dans la viande putréfiée, le lait, le fromage et le vinaigre. Mais il ne put rien constater sur la structure de ces êtres.

Vers la fin du dix-septième siècle, le Hollandais Van Leuwenhoeck parvint à fabriquer des lentilles grossissant cent cinquante fois. A leur aide, il observa dans la salive, dans le tartre dentaire, dans les selles diarrhéiques, de nombreux êtres vivants qu'il considéra comme des animalcules.

Dix ans plus tard, il décrivit les caractères morphologiques de ces petits êtres, et en donna des dessins.

Le premier, en 1786, Otto-Frédéric Müller tenta une classification scientifique et systématique de ces organismes. Mais il nous faut arriver au dix-neuvième siècle pour acquérir des notions plus précises.

Le célèbre naturaliste Ehrenberg publia en 1838 son travail classique sur les *Infusoires comme organismes parfaits*. Au moyen d'instruments perfectionnés construits sous sa direction, Ehrenberg constata la présence de nombreux micro-organismes dans les poussières et dans l'eau. Il leur donna le nom d'infusoires et divisa les petits êtres de ce groupe, qui correspond aux bactéries d'aujourd'hui, en deux familles : les monades et les vibrions, que nous retrouverons au cours de notre étude. D'après leurs formes il distingua dans les microbes : les *bactéries* (formes droites, rigides) ; les *vibrions* (formes droites, flexibles) ; les *spirilles* (formes en spirale et rigides), et les *spirochaètes* (formes en spirale et flexibles). Ehrenberg a donc découvert les principaux types de microbes que nous connaissons aujourd'hui.

En 1852, Perty, de Berne, insiste sur la parenté de plusieurs des organismes inférieurs avec les algues. Le premier, il observa la

formation de spores, sorte de semences qu'il considérait comme une forme durable destinée à assurer la conservation de l'espèce chez les êtres inférieurs, et à la protéger contre les influences extérieures nuisibles.

On considéra tour à tour les microbes comme des êtres appartenant au monde animal ou au monde végétal.

En 1851, le grand botaniste F. Cohn classa définitivement les organismes microscopiques dans le règne végétal, où l'on s'accorde aujourd'hui à les ranger.

Nœgeli, en 1857, en se fondant sur des considérations physiologiques, sépara les micro-organismes incolores des algues colorées, leurs proches parentes. Selon lui, la différence biologique fondamentale de ces deux classes d'êtres microscopiques est que les algues colorées peuvent, grâce à leur chlorophylle et sous l'influence de la lumière solaire, fabriquer leur substance à la manière des végétaux supérieurs, c'est-à-dire par voie de synthèse, avec le carbone, l'azote, l'oxygène et l'hydrogène, utilisés par elles sous forme d'acide carbonique, d'ammoniaque et d'eau, tandis que cette faculté serait refusée aux micro-organismes incolores, qui ont besoin pour vivre et se développer de substances nutritives organiques toutes formées à l'avance.

Les recherches des successeurs de Cohn, notamment les travaux de Pasteur et ceux de Winogradsky sur la nitrification, dont nous parlerons plus loin, ont modifié notablement cette conception.

C'est à l'observation pure, c'est-à-dire en dehors de toute condition expérimentale, que sont dues la connaissance et l'interprétation des faits que je viens de rappeler.

En introduisant la méthode expérimentale dans l'étude des micro-organismes, le génie de Pasteur allait bientôt éclairer, d'un jour absolument nouveau, leur mode de nutrition, de développement et le rôle biologique capital qui leur est assigné par la nature dans la vie des êtres supérieurs et leurs maladies, dans les industries qui mettent en œuvre les matières végétales ou animales, en un mot dans tous les phénomènes où intervient la vie. Dès ses premières recherches, L. Pasteur, on le sait, établit que certaines levures et moisissures peuvent vivre comme les végétaux supérieurs pourvus de chlorophylle,

c'est-à-dire fabriquer et accroître leur organisme, comme ces derniers, à l'aide de matériaux puisés dans le monde minéral, en empruntant leurs éléments fondamentaux (azote, oxygène, hydrogène) aux sels ammoniacaux, aux nitrates, à l'acide carbonique et à l'eau.

De ces grandes découvertes auxquelles la méthode expérimentale pouvait seule conduire, l'observation pure étant impuissante à donner l'explication des faits qu'elle révèle, date une ère nouvelle pour l'hygiène, la médecine, l'agronomie et l'industrie.

Il y a longtemps déjà qu'ont été entrevus les rapports existant entre les micro-organismes et les processus de fermentation et de putréfaction, sur lesquels les travaux de Pasteur ont jeté un jour complet. En 1826, Cagniard-Latour et Schwann reconnurent la nature végétale de la levure de bière. Les expériences de Pasteur, celles de Schrœder et Dusch, montrèrent que les liquides organiques portés à l'ébullition ne fermentent pas, et qu'ils ne se putréfient pas lorsqu'ils restent en contact avec de l'air filtré sur de la ouate. Ces faits d'une importance capitale s'expliquent, le premier par la destruction des germes par la chaleur, le second par l'arrêt, à l'aide du filtrage, des germes contenus dans l'air.

Les phénomènes de putréfaction et de fermentation sont donc sous l'influence absolue de la vie, par l'intermédiaire des infiniment petits qui peuplent le monde. Nous verrons bientôt que les phénomènes qui se passent dans nos sols cultivés, auxquels nous devons leur fertilité entretenue par les fumures, sont sous la dépendance étroite des microbes qui pullulent dans la terre et dans les eaux.

2. — Reproduction et multiplication des microbes

E. Duclaux, dans son admirable ouvrage resté inachevé [1], donne des microbes la définition suivante :

« Ce sont des êtres dénués de chlorophylle et de tout autre pig-

1. *Traité de microbiologie*, 4 vol. in-8. Ce traité devait comprendre six ou sept volumes embrassant l'ensemble des cours que Duclaux professait à la Faculté des sciences ; une mort prématurée ne lui a pas permis d'achever cette publication qu'il serait bien à souhaiter de voir reprendre, à l'aide des notes et manuscrits de l'éminent directeur de l'Institut Pasteur.



ment protoplasmique, incapables, par là, d'utiliser le rayonnement solaire pour créer de la matière organique au moyen de l'acide carbonique et de l'eau, ayant besoin par conséquent, pour vivre et pour se développer, d'aliments tout faits dont ils ramènent une partie à l'état d'eau et d'acide carbonique pour pouvoir trouver, dans la chaleur qui résulte de cette destruction, l'équivalent de ce que les végétaux colorés trouvent dans la chaleur solaire. La nature nous présente un grand nombre de végétaux variés pouvant entrer dans ce cadre (certaines orchidées, des monotropées, des orobanches, etc.); mais on réserve d'ordinaire le nom de microbes à des êtres monocellulaires dont les individus sont visibles seulement au microscope, et dont les plus grands ont la dimension de ces plantules microscopiques que nous connaissons sous le nom de moisissures. »

Les formes que revêtent ces cellules sont très variables; elles ont servi, comme je l'ai dit précédemment, à établir une classification encore imparfaite, mais suffisante pour s'entendre sur leurs caractères généraux et que je rappellerai sommairement avant d'aborder l'étude microbiologique du sol et des eaux.

Des cinq groupes dans lesquels on a rangé les bactéries, suivant leurs formes, arrondies (Coccacées), allongées (Bacillées), incurvées (Spirillées), Chlamydobactériacées et Beggiatoacées, celui qui présente le plus d'intérêt pour l'agronome est le groupe des bacilles ou bactéries. A ce groupe appartiennent les bactéries fixatrices de l'azote, les bactéries nitrifiantes, les microbes dénitrifiants des fumiers et de la terre, et beaucoup d'autres dont je parlerai plus loin.

Les microbes se multiplient, dans les milieux qui leur conviennent, avec une rapidité prodigieuse qui laisse bien loin derrière elle la prolifération et la reproduction des végétaux supérieurs. Il importe de s'en faire une idée pour comprendre le nombre formidable de microbes qui peuplent les eaux et la terre cultivée. Le mode de multiplication se rattache à divers types principaux.

Les Schizomycètes se multiplient par allongement et scissiparité : les bactéries, qui appartiennent à cette classe, s'allongent dans le sens de leur longueur et non seulement par leurs extrémités, mais par tous leurs points. Quand la longueur dépasse une certaine quantité, assez constante quand les conditions extérieures sont constantes, le bacille

se segmente par une cloison perpendiculaire à sa longueur et placée en son milieu. Un même individu, dans un milieu nutritif, est donc de longueur très variable. Il ne conserve guère, comme élément à peu près constant, que sa largeur, qui peut varier d'une espèce à l'autre dans des limites très fortes. L'un des plus fins bacilles connus, celui de l'influenza, n'a guère que 0,2 μ (1) de diamètre. Le plus grand des bacilles pathogènes, le bacille charbonneux, a environ 1 μ. Le plus gros des bacilles connus a 4 μ de largeur : c'est un peu plus que la moitié d'un globule sanguin chez l'homme. Pour certaines espèces de bacilles, l'allongement n'a pas lieu seulement dans le sens de l'axe ; ils peuvent aussi se couper longitudinalement dans le sens de l'axe (Metchnikoff), ou bien pousser des bourgeons latéraux qui s'allongent et donnent des formes dichotomiques et parfois rameuses, ainsi que cela a lieu chez les bactéries des légumineuses.

Quel que soit le mode de multiplication des infiniment petits : par allongement chez les Hyphomycètes (moisissures) ; par allongement et scissiparité chez les bactéries ; par bourgeonnement chez les levures, la reproduction s'opère en un temps très court, ainsi que vont le montrer les observations si intéressantes de Duclaux et de Marshall Ward.

J'ai eu la curiosité, dit E. Duclaux, de suivre sous le microscope la reproduction par scissiparité d'un kolpode, gros infusoire de 1 vingtième de millimètre de longueur environ, muni d'une bouche, d'un cœur, de cils vibratiles sur toute sa surface, d'une structure intérieure évidemment très compliquée. Quand il doit se reproduire, ce kolpode, qui est de forme allongée, devient globuleux. Les organes intérieurs semblent se fondre en une masse granuleuse homogène ; seul, le cœur ou la vésicule contractile qu'il porte à son arrière reste visible et continue à battre d'un mouvement rythmique et assez rapide. L'infusoire tout entier roule en même temps lentement sur lui-même. Au bout d'une heure, on voit se produire une segmentation qui partage la boule en deux moitiés. Le cœur est resté dans l'une d'elles. Au bout de deux heures, chacune des moitiés a sa vésicule contractile. L'infusoire tourne toujours lentement sur lui-même ; son

1. Le micron μ = 1 millième de millimètre.

aspect granuleux n'a pas changé. On voit se prononcer de plus en plus une segmentation perpendiculaire à la première et il se forme ainsi quatre animaux qui s'organisent peu à peu, prennent chacun un cœur, des cils à leur surface, et subissent un commencement d'organisation intérieure. Lorsqu'ils sont assez forts, ils se mettent à rouler les uns sur les autres, comme pour vaincre une sorte d'adhérence glutineuse, et finissent par se séparer, sans qu'on puisse voir de trace d'une enveloppe commune. Quatre heures suffisent pour toutes ces transformations ! Ces infusoires ont un autre mode de reproduction, mais en admettant qu'ils soient bornés à celui que nous venons de décrire, un seul être en aurait produit 4 096 au bout de vingt-quatre heures, et, au bout de quarante-huit heures, plus de seize millions.

Pour les bacilles, écrit E. Duclaux, nous demanderons un exemple au travail très soigné de Marshall Ward, qui porte sur un bacille de l'eau, bien connu sous le nom de *Bacillus ramosus*. Ce sont des filaments formant des chaînes parfois très longues et ayant environ 1,75 μ de largeur. Marshall Ward l'a fait pousser sous le microscope et a mesuré son allongement au moyen d'une échelle divisée.

Il a d'abord mesuré l'allongement d'un article terminal dont la longueur à l'origine des mesures était de 25,5 μ ; sans entrer dans le détail des observations si complètes auxquelles Marshall Ward s'est livré sur la rapidité de l'allongement de cette bactérie, bornons-nous à la conclusion finale que E. Duclaux résume en ces termes : Prenons comme moyenne le chiffre de 35 minutes, qui a été fréquemment observé par ce savant ; on voit qu'en douze heures, il y aurait 4 millions de bacilles produits par un seul, et si celui-ci avait seulement 1 centième de millimètre de long, il aurait atteint une longueur de 40 mètres. On comprend donc qu'il peuple rapidement le liquide de culture, et aussi qu'il arrive bientôt à y être gêné, soit par son développement lui-même, soit par le manque de nourriture. Les cultures de Marshall Ward se faisaient dans des gouttelettes de 1 millimètre cube environ, où les premiers filaments étaient fort à l'aise, mais à la fin, le volume total des filaments était d'environ 100 millions de μ cubiques, soit le dixième environ du volume total de la goutte.

D'autres observations ont confirmé la prodigieuse rapidité avec laquelle se multiplient les micro-organismes. En vingt ou trente minutes une bactérie peut se diviser en deux, ce qui donne 48 générations en vingt-quatre heures, soit 281 500 milliards d'organismes ! Ces faits si curieux expliquent l'innombrable population de bactéries diverses dont nous constaterons bientôt la présence dans quelques centimètres cubes de terre arable.

3. — Nutrition des microbes. Population microbienne du sol

Les bactéries appartiennent au monde végétal. Comme toutes les plantes, elles ont besoin d'aliments pour édifier les cellules de leurs tissus et y entretenir la vie après leur constitution. Ces aliments sont les mêmes que ceux que réclament les végétaux supérieurs : l'azote, l'oxygène, le carbone et l'hydrogène y figurent au premier rang; mais, tandis que les plantes à chlorophylle peuvent absorber directement, sous l'influence des rayons solaires, le carbone et les éléments de l'eau contenus dans l'atmosphère, les microbes, dépourvus de pigment coloré, demandent aux matières organiques du sol ou des eaux la source de leur alimentation. La source d'énergie ou de chaleur, ce qui est tout un, nécessaire à l'organisation des végétaux à chlorophylle, ceux-ci l'empruntent aux rayons solaires, tandis que les bactéries la trouvent dans la dissociation qu'elles opèrent des matériaux organiques, sucre, amidon, substance protéique, etc., du milieu où elles vivent. Leur existence et leur multiplication dans le sol sont donc étroitement liées à la présence en quantité plus ou moins abondante de la substance organique dans le milieu où elles pullulent.

Les microbes se rattachent, par leur mode de nutrition, à deux grands groupes principaux : les uns, comme les moisissures et la plupart des bactéries de la terre, sont *aérobies*, c'est-à-dire aptes à brûler les matériaux de leur alimentation à l'aide de l'oxygène de l'air. Les autres, dits *anaérobies*, tels la levure de bière et la plupart des microbes pathogènes, vivent en l'absence d'oxygène libre ; ils décomposent les substances organiques pour s'emparer de l'oxygène

qui leur est nécessaire. Il y a, enfin, des microbes qui sont tantôt aérobies, tantôt anaérobies. Dans la vie anaérobique, comme dans la vie aérobique, c'est la combustion qui engendre la chaleur indispensable à l'existence des microbes, avec cette différence que cette combustion ne s'effectue pas chez les êtres anaérobiques par fixation de l'oxygène de l'air sur l'élément hydrocarboné, mais qu'elle se produit aux dépens des matières organiques, du sucre, dans le cas de la levure par exemple, qui est disloqué par l'action du ferment, et donne de l'alcool et de l'acide carbonique. Dans ce cas, le sucre n'est pas complètement brûlé : les équations suivantes montrent clairement la différence du mode de décomposition du sucre dans les deux genres de vie du microbe.

Vie aérobie . . . . $\underbrace{C^6H^{12}O^6}_{\text{Sucre}} + \underbrace{12\,O}_{\text{Oxygène}} = \underbrace{6\,H^2O}_{\text{Eau}} + \underbrace{6\,CO^2}_{\text{Acide carbonique}}$

Vie anaérobie . . . . $\underbrace{C^6H^{12}O^6}_{\text{Sucre}} = \underbrace{2\,[C^2H^6O]}_{\text{Alcool}} + \underbrace{2\,CO^2}_{\text{Acide carbonique}}$

Il résulte de cette comparaison que la production de la quantité de chaleur nécessaire à l'organisation d'un même poids de microbes exigera la combustion d'une plus grande quantité de sucre à l'abri de l'oxygène (anaérobiose) qu'au contact de l'air (aérobiose). Cette constatation explique l'intensité des phénomènes de décomposition des matières organiques du sol et des eaux par l'action des bactéries. Nous verrons plus loin les conséquences qui en découlent pour l'application d'un certain nombre de phénomènes importants dont le sol est le siège.

Le sol, suivant l'heureuse expression d'E. Duclaux [1], « est le grand réservoir duquel tout part, et auquel tout revient dans le monde vivant ». Dans les couches superficielles de la terre se produisent les phénomènes qui présentent le plus d'intérêt pour l'agriculture. Pendant longtemps, on a regardé le sol comme un simple

1. *Traité de microbiologie.*

support des végétaux ; admettant que ceux-ci se nourrissaient exclusivement des matériaux apportés par le fumier de ferme, on n'attribuait pour ainsi dire aucune importance à la composition minéralogique des sols. La doctrine de la nutrition minérale des plantes (J. Liebig), en venant établir que les véritables aliments des végétaux sont les principes inorganiques que ceux-ci puisent dans l'atmosphère ou dans la terre, et non l'humus, en tant que substance organique, modifia radicalement les idées régnantes. A partir de 1840, la connaissance des propriétés chimiques des terres devint la base de l'emploi agricole des engrais minéraux qui a pris, depuis vingt-cinq ans, la place considérable que l'on sait dans la fumure du sol.

Les découvertes bactériologiques, qui ont marqué la fin du dernier siècle, ont ouvert à l'agriculture des voies nouvelles pour la fertilisation des terres et l'accroissement de leurs rendements. L'étude du rôle des microbes du sol est devenue l'une des sources les plus fécondes de nos connaissances sur les relations de la plante avec les milieux où elle vit.

Les microbes détruisent et rendent soluble la matière organique constamment renaissante à la surface du sol. Les pluies tendent à entraîner dans les profondeurs les substances solubilisées par les microbes : la plupart de ces substances sont retenues dans la couche superficielle en vertu du pouvoir absorbant. Sans entrer pour l'instant dans les détails de l'étude microbienne du sol, magistralement exposée par E. Duclaux, dans son *Traité de microbiologie,* je m'arrêterai à la distribution, dans la couche arable, des bactéries considérées dans leur ensemble, et quelques exemples suffiront pour en donner une idée.

Les premières recherches exactes à ce sujet sont celles de Fraenkel.

Koch avait vu que le nombre des microbes va en décroissant avec la profondeur. Fraenkel a confirmé ce fait, et précisé la distribution des bactéries à diverses profondeurs.

Dans le sol d'une colline boisée, le Pfingsberg, aux environs de Potsdam, il a déterminé, à diverses époques de l'année, le nombre de germes vivants, contenus de 0 à 4 mètres de profondeur. Voici

les nombres trouvés par cet observateur, dans 1 centimètre cube de terre :

PROFONDEUR	27 MAI	15 JUIN	3 NOVEMBRE
0m,00	150 000	140 000	55 000
0 ,50	200 000	145 000	75 000
1 ,00	2 000	1 000	7 000
1 ,50	15 000	500	200
2 ,00	2 000	0	100
2 ,50	500	0	0
3 ,00	3 000	700	1 500
3 ,50	0	700	50
4 ,00	0	150	0
4 ,50	100	100	0

Il n'y a pas d'habitation sur le Pfingsberg, et le sol, cultivé en forêt et ne recevant pas d'engrais, peut être considéré comme un sol vierge. Voici, par comparaison, l'étude de quelques sols de la ville de Berlin, qu'on peut considérer comme très souillés par le contact de l'homme. Fraenkel a recueilli les échantillons à une moindre profondeur, parce que la nappe souterraine des eaux, qui était à 5 mètres environ au Pfingsberg, était ici plus voisine de la surface :

PROFONDEUR	JARDIN	SOL DE MAISON	
	1	2	3
0m,00	450 000	160 000	»
0 ,50	300 000	40 000	»
1 ,00	150 000	10 000	80 000
1 ,50	80 000	»	20 000
2 ,00	200 000	6 000	49 000
2 ,50	700	»	650
3 ,00	100	600	600

E. Duclaux, avec Fraenkel, tire de ces comparaisons les constatations suivantes :

1° La population microbienne va en décroissant partout à mesure qu'on s'enfonce, mais la décroissance est irrégulière. C'était prévu, d'après ce que l'on savait des relations de microbes avec la quantité de matière organique. Ce qui serait imprévu, si on n'était pas prévenu et si l'on devait prendre le mot dans son sens absolu, c'est la stérilité

de quelques-unes des couches. On ne voit pas comment une couche peut se conserver stérile entre deux couches contaminées. Quand on songe, dit E. Duclaux, à la peine que nous avons dans nos laboratoires à empêcher la transmission des bactéries au travers d'une cloison humide, d'un filtre poreux, il paraît étrange que dans la nature une couche de terre se maintienne stérile à 50 centimètres d'une autre couche très peuplée;

2° A quelques mois de distance, la même couche peut être peuplée ou stérile. Cette constatation, très nette pour le Pfingsberg, n'est pas faite pour diminuer la surprise que peut provoquer la première.

Il me semble qu'il y a, dans la recherche des causes auxquelles sont dues ces anomalies, un sujet digne de tenter un bactériologiste;

3° L'hiver amène une diminution des germes de la surface, ce à quoi il était naturel de s'attendre, parce qu'il diminue à la fois la température et la quantité des matières organiques.

L'hiver n'a guère d'action sur le sol des profondeurs, ce qui semble très naturel, si on songe qu'à une petite distance de la surface il n'y a plus, à proprement parler, ni hiver ni été. Il y a de faibles variations de température qui, suivant la profondeur, sont tantôt d'accord, tantôt en désaccord avec le cours des saisons.

Des recherches récentes de M. J. Hohl, de la station bactériologique de l'établissement fédéral du Liebefeld, près Berne, ont montré que dans les sols cultivés, le nombre des bactéries dépasse de beaucoup les chiffres indiqués par Fraenkel. Un gramme de terre humide, dit M. Hohl, contient de 3 à 50 millions de germes. Dans la terre de Liebefeld, M. Hohl a trouvé, par centimètre cube de terre :

Terres labourées	5 750 000 bactéries
Terres des prairies	9 400 000 —

A titre de comparaison, il donne les indications suivantes sur la teneur en bactéries du fumier (pris sur un tas de fumier), des matières excrémentitielles fraîches de la vache, et du purin recueilli dans la fosse à purin. Par centimètre cube :

Fumier.	44 500 000 bactéries
Matières excrémentitielles .	14 750 000 —
Purin	23 750 000 —

Ces nombres, si élevés qu'ils puissent paraître, ne semblent pas extraordinaires. Si l'on admet, en effet, qu'une bactérie a, en général, une largeur de 1 μ sur une longueur de 2 μ, 50 millions de bactéries tiendraient dans 78 millimètres cubes et un centimètre cube pourrait en renfermer 600 millions !

4. — La flore microbienne du sol. Indications générales sur le rôle spécifique des bactéries

Le sol est peuplé, dans l'épaisseur de la couche où se passent les principaux phénomènes de la végétation souterraine, d'innombrables végétaux microscopiques dont la prodigieuse activité vitale concourt avec une intensité extrême à la fertilité de la terre.

Les découvertes relativement récentes des bactériologistes nous ont déjà révélé la diversité et le rôle d'un nombre assez considérable d'espèces microbiennes et, si l'avenir nous réserve encore l'éclaircissement de faits jusqu'ici demeurés obscurs, ceux qui sont acquis suffisent pour expliquer les principales transformations que les matières organiques subissent dans le sol ou à sa surface.

Dans toutes les terres, on rencontre des bactéries auxquelles sont dévolues des fonctions spéciales dont l'accomplissement aboutit à la restitution au monde minéral des éléments qui ont servi à la constitution des organes des êtres vivants : plantes et animaux. A cette restitution intégrale, sous forme d'éléments simples ou de composés minéraux originaires de l'air ou du sol, est étroitement liée la perpétuation des organismes vivants à la surface du globe. Constitués par l'association du carbone, de l'azote, des éléments de l'eau : oxygène et hydrogène, à quelques substances minérales telles que le phosphore, le calcium, le potassium, etc., tous les êtres vivants, depuis l'animal et la plante de l'ordre le plus élevé jusqu'aux spécimens des organismes des plus petites tailles, sont ramenés, après leur mort, par l'action microbienne, aux formes élémentaires de la matière minérale qui a servi à leur édification. Ce sont en réalité les infiniment petits qui mettent incessamment en circulation, pour servir à la nutrition de nouvelles générations de végétaux et d'animaux, les matières premières de toute organisation. Les quatre

grands groupes de substances qui constituent les aliments de l'homme et du bétail, la cellulose, les substances hydrocarbonées (amidon et sucre), les graisses et les matières azotées, font retour au monde minéral par l'intervention des microbes. Sans l'intervention des bactéries, l'atmosphère et le sol s'appauvriraient de toute la quantité d'éléments simples que leur emprunte la végétation. Sans elles, accumulés progressivement à la surface du globe, les détritus des plantes et des animaux n'y subiraient aucune décomposition.

On a attribué pendant longtemps à la combinaison directe de l'oxygène de l'air, avec les restes des organismes qui ont vécu, la destruction et la disparition de leur dépouille ; on désignait cette transformation sous le nom de combustion lente, l'assimilant, à l'intensité près des phénomènes, à la combustion vive des combustibles par l'oxygène de l'air. Cette notion hypothétique a fait place, depuis les découvertes de la microbiologie, à une explication fondée sur des expériences qui ne laissent subsister aucun doute sur les causes vraies de ces transformations. On a constaté que des microbes spéciaux président à la décomposition de chacun des grands groupes de substances organisées : les uns transforment la cellulose, l'amidon et leurs congénères en acide carbonique et en eau ; les autres, s'attaquant à l'albumine et autres matières azotées, les réduisent en acide carbonique, eau et ammoniaque ; ainsi se renouvellent incessamment les sources premières d'alimentation des plantes.

Dans le sol, on rencontre toujours en nombre immense les bactéries qui provoquent la pourriture des restes des végétaux et celles qui amènent la putréfaction des résidus d'origine animale. Mais elles ne peuplent pas seules la couche arable, dans laquelle ne manquent pour ainsi dire jamais trois autres groupes de microbes qui sont :

1° Les microbes nitrifiants chargés de transformer l'ammoniaque, produite par le premier stade de la décomposition des matières azotées, en composés nitrés, préparant ainsi l'aliment azoté à peu près unique des plantes ;

2° Les microbes fixateurs de l'azote atmosphérique qui concourent si activement dans les nodosités des légumineuses au développement de ces dernières ;

3° Enfin, les microbes destructeurs de nitrates, microbes dénitri-

fiants, dont le rôle se traduit principalement dans les pertes en azote nitrique qui affectent les fumiers, comme nous le verrons plus tard.

Les recherches bactériologiques ont permis d'identifier un grand nombre de microbes du sol, dont la nomenclature et les caractères spécifiques n'ont qu'un intérêt éloigné pour le praticien. Ce qui importe à ce dernier, c'est la connaissance exacte du rôle des trois groupes de bactéries que je viens de citer, et tout particulièrement celui des microbes nitrifiants et des bactéries fixatrices de l'azote gazeux de l'air.

La nitrification des matières azotées dans le sol s'exerce avec une généralité et une intensité tellement considérables ; elle joue dans la fertilisation de la terre un rôle si important, que nous lui donnerons la première place dans cette étude succincte de la part prépondérante qui revient aux infiniment petits dans la productivité de la terre.

Nous examinerons ensuite l'état de nos connaissances sur les bactéries qui enrichissent la terre en azote assimilable, aux dépens de la source inépuisable de cet élément, mise gratuitement à la disposition du cultivateur. Il nous restera enfin à parler des microbes dénitrifiants.

5. — La nitrification. Historique succinct de la découverte de ses véritables causes

La nitrification, phénomène dont le résultat final est la transformation en acide nitrique des matières azotées neutres (albumine et ses congénères), apportées au sol par les fumures organiques ou provenant de la décomposition, dans la terre, des restes de plantes et d'animaux, s'exerce, comme on sait, sur une prodigieuse échelle. L'acide nitrique en s'unissant, au fur et à mesure de sa formation, avec les bases minérales : chaux, magnésie, potasse, etc., constitue la source, pour ainsi dire unique, de l'alimentation azotée des plantes. Quelques familles végétales, au premier rang desquelles se trouvent les légumineuses, ont seules en effet, parmi les plantes spontanées ou cultivées, la faculté d'utiliser, pour la fabrication de leur substance azotée, le gaz azote libre de l'atmosphère. Nous nous occuperons plus loin de leur nutrition.

La recherche des conditions dans lesquelles s'effectue la nitrification a produit diverses hypothèses jusqu'au jour, en 1877, où l'intervention de microbes dans la production du phénomène a été révélée et mise hors de doute par les expériences de Th. Schlœsing et d'A. Müntz que je rappellerai tout à l'heure.

Pendant un certain temps, on considéra la nitrification comme le résultat de la condensation et de l'oxydation de l'ammoniaque de l'atmosphère et du sol sous l'influence de corps poreux. Cette hypothèse avait pour point de départ une curieuse expérience de Fr. Kuhlmann. Cet habile chimiste montra que si l'on fait passer, à froid, un courant d'ammoniaque gazeuse mélangée d'air sur de la mousse de platine, celle-ci s'échauffe et devient incandescente : l'ammoniaque est brûlée à ce contact; son hydrogène donne de l'eau et son azote s'oxyde également et passe à l'état de composés nitrés. Par analogie, on expliqua l'origine du salpêtre qui se montre spontanément sur les murs des caves et des étables, sur les plâtras et dans la terre arable, en admettant que les matières poreuses, à l'instar de la mousse de platine, donnent naissance à l'acide nitrique, en condensant l'ammoniaque de l'atmosphère et celle qui provient, dans le sol, de la décomposition des matières organiques, et en l'oxydant comme dans l'expérience de F. Kuhlmann.

Cette théorie dut être abandonnée lorsque J.-B. Boussingault, en 1865, démontra que la porosité du milieu dans lequel se produisent les nitrates ne joue aucun rôle dans le phénomène, leur source première, *sine qua non,* étant la matière azotée du sol et non l'ammoniaque atmosphérique : du sang et d'autres substances azotées mises en contact pendant cinq années avec des corps poreux, calcaire, sable, etc., n'ont donné naissance à aucune production d'acide nitrique, tandis que les mêmes matières, mêlées à de la terre arable, devenaient le siège d'une nitrification active. A quel agent devait être attribuée l'action nitrifiante ? Boussingault l'ignorait, mais on était désormais certain qu'il fallait le chercher dans le sol.

La découverte capitale de Th. Schlœsing et Müntz vint bientôt préciser la véritable cause de la nitrification en la rattachant à la présence de micro-organismes dans le milieu nitrifiant.

Pasteur et Al. Müller avaient émis l'opinion que la nitrification

devait être sous la dépendance de ferments figurés, mais, avant les expériences de Schlœsing et de Müntz, cette vue était demeurée à l'état d'hypothèse. Tout le monde connaît les faits sur lesquels les deux savants ont appuyé leur démonstration de la corrélation des phénomènes de nitrification, avec l'existence d'organismes microscopiques dans les milieux où ils se passent : aussi me bornerai-je à les rappeler sommairement. Ils peuvent se résumer dans les propositions suivantes :

1° Une terre ou un liquide, comme l'eau d'égout, susceptibles de transformer en nitrates l'ammoniaque qu'ils renferment, perdent cette propriété lorsqu'on les porte à une température (110° par exemple) à laquelle on sait que ne résistent pas les microbes ;

2° Ces milieux, auxquels la chaleur a fait perdre la faculté nitrifiante, la recouvrent lorsqu'on leur ajoute une petite quantité de terre qui n'a pas été chauffée, ce qui correspond en réalité à un nouvel ensemencement de ferment nitrique. La chaleur a stérilisé le milieu primitif, devenu par suite incapable de nitrifier, mais l'apport d'une faible quantité de terre nouvelle lui restitue sa faculté nitrifiante ;

3° Si, au lieu de stériliser le milieu par la chaleur, on paralyse momentanément ou d'une façon durable les microbes nitrificateurs, le phénomène est suspendu ou supprimé. Il suffit de placer la terre ou l'eau nitrifiables dans une atmosphère contenant un anesthésique, du chloroforme, par exemple, pour constater l'arrêt complet de la transformation de l'ammoniaque en acide nitrique ; vient-on à dissiper les vapeurs de chloroforme, la nitrification recommence.

Les bactéries se comportent donc vis-à-vis des anesthésiques comme les êtres supérieurs, ou pour mieux dire, ces agents ont sur les microbes la même action que sur les organismes de grande taille. De ces faits si curieux découle la démonstration indiscutable du caractère biologique d'un phénomène considéré jusqu'à la découverte de Th. Schlœsing et de Müntz comme résultant d'actions chimiques ou physiques sans lien avec les manifestations vitales.

De nombreux expérimentateurs, en Allemagne, en Angleterre, en Italie, s'engagèrent bientôt dans la voie ouverte par les recherches des savants français, cherchant à découvrir et à déterminer l'espèce

microbienne à laquelle est dévolue la fonction nitrifiante : aucun d'eux ne réussit à donner à ce problème une solution nette. Jusqu'en 1890, on ne parvint pas à isoler l'agent actif de la nitrification dont l'existence avait été mise hors de doute par les expériences de Th. Schlœsing et A. Müntz. L'honneur de cette grande découverte était réservé à Winogradsky, dont les recherches entourées de tant de difficultés ont jeté sur la nature de cet agent, sa physiologie et son rôle dans la nature, une lumière aussi complète qu'inattendue.

6. — Les microbes nitrifiants. Les découvertes de Winogradsky

L'expérience fondamentale de Schlœsing et Müntz, en 1877, avait révélé l'intervention d'un être vivant dans la transformation de l'ammoniaque en acide nitrique. Suspendue momentanément ou supprimée complètement, sous l'influence des anesthésiques ou d'une température à laquelle ne résistent pas les êtres inférieurs, la nitrification dans le sol ou dans l'eau ne pouvait désormais être considérée autrement qu'un phénomène biologique, dont les microbes existant dans ces milieux étaient les agents nécessaires. Une fois formée au sein de la terre ou des eaux, par la décomposition des matières organiques, l'ammoniaque ne peut s'oxyder, c'est-à-dire nitrifier, sans la présence de l'une ou de plusieurs des espèces microbiennes qui peuplent le sol. A quelles bactéries était dévolu le rôle de préparer l'alimentation azotée de nos récoltes ? tel était le problème posé par la découverte de Schlœsing et Müntz.

De nombreux expérimentateurs, ainsi que je l'ai dit précédemment, entreprirent d'élucider la question, mais aucun d'eux ne put parvenir à mettre en évidence d'une manière nette la fonction nitrifiante chez une espèce microbienne déterminée, et l'agent actif de la nitrification demeura inconnu jusqu'en 1890.

A cette époque, parurent, dans les *Annales de l'institut Pasteur*, les remarquables travaux exécutés à l'institut hygiénique de l'université et au laboratoire de chimie agricole du Polytechnicum de Zurich. Le problème était résolu, l'agent de la nitrification

était isolé : en même temps, la découverte des conditions dans lesquelles Winogradsky avait réussi à séparer le microbe de tous ceux qui l'accompagnent dans le sol et à le cultiver à l'état de pureté, expliquait les insuccès de tous ses devanciers dans ces recherches délicates. On va voir comment. Les micro-organismes de la terre vivent et se développent au sein de milieux riches en matières organiques, en leur empruntant le carbone nécessaire à leur existence, sous forme de composés hydrocarbonés (sucre, amidon, cullulose, etc.) ; ils sont semblables, en cela, aux êtres d'ordre plus élevé qui ne peuvent se nourrir de substances minérales.

Les végétaux supérieurs, eux, ne vivent que de ces dernières ; ils empruntent, comme on le sait, tout leur carbone à l'acide carbonique de l'atmosphère. Cet emprunt s'effectue par l'intermédiaire indispensable de la lumière solaire. La chlorophylle, matière verte des feuilles et des tiges, opère, par un mécanisme qui a échappé jusqu'ici à toutes les investigations, la réduction de l'acide carbonique par les plantes et la fixation du carbone dans leurs tissus.

Winogradsky, en étudiant le développement du microbe nitrifiant par les méthodes employées (cultures sur gélatine, etc.) pour isoler les bactéries, constata, fait inattendu, que la nitrification était d'autant plus rapide et plus intense que le milieu était plus pauvre en matières organiques. Il ensemença avec de la terre arable un liquide exempt de toute substance hydrocarbonée : l'eau très pure du lac de Zurich. Il additionna l'eau d'un millième de son poids de sulfate d'ammoniaque, d'un millième de phosphate de potasse, et, par 100 centimètres cubes de liquide, il ajouta un demi-gramme à un gramme de carbonate de magnésie.

Bientôt, il constata que le milieu nitrifiait très activement ; il vit, de plus, qu'après un grand nombre de passages successifs dans le liquide, tous les organismes vulgaires qui, dans la terre, étaient associés au microbe nitrifiant, avaient disparu. La méthode d'isolement complet de la bactérie nitrifiante était trouvée. Dans le milieu minéral où elles se développaient abondamment, toutes les autres bactéries, ne rencontrant pas la matière organique nécessaire à leur existence, disparaissaient successivement. Winogradsky ayant constaté sur le fond de ses matras d'expériences une belle bactérie ovale qui seule

pullulait dans la couche de carbonate de magnésie, réussit par des cultures successives, en milieux *absolument* dépourvus de substance organique, à écarter toutes les bactéries banales, à isoler le microbe nitrifiant à l'état de pureté parfaite. Une goutte de ces cultures ajoutée à un liquide renfermant exclusivement un sel ammoniacal, un phosphate et du carbonate de magnésie, y produisait un développement considérable de la bactérie ovale et une nitrification intense.

La cause des insuccès de tous les devanciers de Winogradsky, dans l'isolement du microbe nitrifiant, était clairement indiquée par ces faits. Toutes les bactéries du sol introduites avec le microbe nitrifiant dans des solutions contenant des substances organiques y pullulaient, tandis que l'agent nitrificateur n'y pouvait vivre que péniblement, et n'en pouvait être isolé par les procédés bactériologiques ordinaires. Une autre conséquence physiologique capitale découlait de cette belle étude : puisque les microbes nitrifiants forment et multiplient leur substance dans un milieu exclusivement minéral, il faut qu'ils aient la faculté d'emprunter leur carbone à un sel minéral, au carbonate de magnésie, dans le cas présent. Bien qu'incolores, c'est-à-dire dépourvus de chlorophylle, ils sont donc aptes à constituer leur substance carbonée, à la manière des végétaux supérieurs, c'est-à-dire à l'aide de carbone inorganique. « Le rôle de rechercher les carbonates terreux, dit Winogradsky, de les attaquer et de les décomposer, que cet organisme nitrificateur joue dans nos cultures, il le remplit probablement aussi dans la nature. Ce rôle est intéressant, et son importance n'échappera à personne.

« L'idée surgit que ce microbe et ses semblables pourraient avoir pour fonction de maintenir en équilibre et de régulariser la circulation du carbone sur notre planète, en empêchant l'acide carbonique de s'immobiliser dans les carbonates terreux. » Je ne puis décrire les nombreuses expériences qu'a faites Winogradsky pour mesurer directement la fixation du carbone du carbonate de magnésie par le microbe. Mais il me suffira d'en rapporter une pour justifier la conclusion que l'auteur a tirée de ses admirables recherches : « La nitromonade possède la faculté d'assimiler le carbone de l'acide carbonique. »

*

Voici les résultats de cette expérience :

Culture dans une eau naturelle additionnée de sels minéraux

(La quantité de nitrates formés correspond à 928 milligr. d'acide azotique.)

Dosage du carbone organique:

Le dépôt a donné	30mg,0
Le liquide	13 ,6
Total	43mg,6
D'où il faut retrancher correspondant au carbone d'un volume égal du même liquide stérile.	6 ,0
Il reste donc	37mg,6
Qui correspondent à de carbone assimilé par les microbes.	10 ,2

Il faut remarquer que le chiffre de 10mg,2 ne représente pas la totalité du carbone assimilé pendant toute la durée de la culture, mais seulement la quantité de ce corps faisant partie de la substance organique en suspension et en dissolution dans le liquide au moment de l'analyse. S'il y a eu, et combien il y a eu de carbone assimilé, puis de nouveau oxydé et perdu dans le cours de la végétation, nous ne savons rien de positif là-dessus.

L'agent de la nitrification nous apparaît donc doué de propriétés remarquables qui en font, suivant l'expression de Winogradsky, un type physiologique très saillant.

7. — Nitrification du sol. Les microbes nitreux

Les recherches de Winogradsky ont mis hors de doute, comme nous l'avons vu, la faculté que possède le microbe nitrifiant, à l'instar des végétaux pourvus de chlorophylle, d'emprunter son carbone à une source exclusivement minérale, en l'absence de composés carbonés organiques. La plante assimile le charbon de l'acide carbonique de l'air; le microbe, celui des carbonates du sol: le résultat est identique; au fond, l'origine du carbone dans les deux cas est purement minérale.

Ce mode de nutrition du microbe nitrifiant explique les faits très curieux constatés par A. Müntz dans son importante étude sur le rôle

du ferment nitrique dans la désagrégation des roches. Les recherches d'A. Müntz ont montré que le microbe nitrifiant est extraordinairement répandu partout à la surface du globe : il l'a retrouvé à l'état vivant sur les plus hautes montagnes et même sous les glaciers où il sommeille, dit-il, depuis des époques reculées. Il joue un rôle dans la désagrégation des roches et contribue à la séparation de leurs éléments. A. Müntz l'a rencontré à la surface des rochers et dans les interstices, sur toutes les formations géologiques, aussi bien aux plus grandes altitudes qu'au niveau du sol. Il est extrêmement abondant dans les roches qui s'altèrent ; dans certains cas, il en envahit toute la masse. Les calcaires pourris, le granit en décomposition, sont remplis de ces organismes qui pourraient être la cause principale de leur désagrégation, à laquelle, comme l'ont montré d'autres recherches, les lichens prennent aussi une grande part.

A une grande altitude, où la matière organique fait défaut, la nourriture de ce ferment serait, d'après M. Müntz, l'alcool et l'ammoniaque qui sont diffusés dans l'atmosphère.

Je pense que l'on peut admettre, d'après les travaux de Winogradsky, que la principale source d'alimentation carbonée du microbe nitrifiant sur les roches nues doit provenir pour une grande part des carbonates terreux résultant de la décomposition des éléments minéraux de ces roches, l'ammoniaque atmosphérique fournissant au microbe la substance nitrifiable.

Les recherches ultérieures de Winogradsky l'on conduit à une deuxième découverte du plus haut intérêt. Dans ses expériences de nitrification, il avait remarqué que la production de l'acide nitrique est précédée de l'apparition d'un composé moins oxygéné, l'acide nitreux ; ce composé disparaissait ensuite pour faire place à l'acide nitrique. Il constata bientôt que le phénomène de transformation de l'ammoniaque en nitrate résulte de l'action de deux ferments distincts, et non d'un seul, comme on l'admettait jusque-là. Le premier ferment nitreux, qu'il nomma *nitrosomonas,* oxyde les sels ammoniacaux et donne des nitrites ; le second, auquel Winogradsky donna le nom de *nitrobacter,* oxyde les nitrites et les transforme en nitrates.

Ces découvertes de Winogradsky furent l'objet de vives critiques

de la part de nombreux expérimentateurs[1], mais il a été démontré que les faits avancés par lui sont parfaitement exacts et que les résultats contradictoires des autres expérimentateurs n'ont eu pour cause que la présence de microbes étrangers dans les cultures qu'ils considéraient comme pures. M. E. Boullanger, dans son travail[1], étudie en détail les méthodes préconisées par Winogradsky et Omeliansky pour obtenir les deux microbes nitrificateurs à l'état de pureté; j'y renverrai mes lecteurs, me bornant à emprunter, à l'étude de l'habile bactériologiste de Lille, quelques indications sur le caractère et les propriétés du ferment nitreux. Ce microbe est constitué par de belles bactéries ovales dont il semble exister un assez grand nombre d'espèces. Ces microbes présentent deux formes bien distinctes dont l'une, la monade, est beaucoup plus active que l'autre (zooglée). Winogradsky a rangé ces bactéries dans deux genres spéciaux, le genre *nitrosomonas* qui comprend les ferments nitreux du vieux monde, et le genre *nitrococcus* qui embrasse les ferments nitreux du nouveau monde, très différents au point de vue morphologique. Il est bien curieux de voir la transformation de l'ammoniaque en acide nitreux s'effectuer dans l'ancien continent et dans le nouveau sous l'action de ferments différents, au moins par leur forme! Le trait caractéristique de la physiologie de ces microbes est de posséder la faculté, comme le ferment nitrique, d'assimiler le carbone de l'acide carbonique. Tous peuvent vivre indéfiniment, comme semblaient l'indiquer déjà les observations d'A. Müntz, dans un milieu absolument dépourvu de carbone organique.

Les observations de Boullanger et Massol ont montré que le ferment nitrique est paralysé par la présence de l'ammoniaque, que le ferment nitreux seul oxyde. Ces deux ferments agissent successivement, et non simultanément, pour produire la nitrification. Quand on cherche, dit E. Boullanger (*loc. citat.*), à produire au laboratoire la symbiose des deux microbes nitrificateurs en les ensemençant simultanément dans un milieu ammoniacal, on n'obtient presque

1. Voir à ce sujet le très intéressant mémoire de M. E. Boullanger, qui sous le titre *La nitrification* a paru dans les annales de l'institut Pasteur du mois de novembre 1904.



jamais la vie symbiotique : l'ammoniaque passe d'abord entièrement à l'état de nitrite ; puis, quand la phase nitreuse est complètement terminée, le ferment nitrique se développe et transforme les nitrites en nitrates. Les deux fermentations sont donc successives et non simultanées. Ce fait, observé par tous les expérimentateurs qui se sont occupés de nitrification, s'explique aisément par l'action paralysante de l'ammoniaque sur le ferment nitrique. Winogradsky et Omeliansky se sont basés sur cette observation, ainsi que sur la sensibilité extrême du ferment nitreux aux matières organiques, pour expliquer de la façon suivante les phénomènes de nitrification dans la nature : le ferment nitreux, gêné par les matières organiques complexes, ne se développe et ne commence son action que lorsque la décomposition de ces matières par les autres microbes est déjà très avancée ; le ferment nitrique, paralysé par l'ammoniaque, reste à l'état de repos pendant la phase nitreuse et il n'oxyde les nitrites que lorsque les dernières traces d'ammoniaque ont disparu.

Bien des particularités relatives à la vie des ferments nitrificateurs restent encore à découvrir, mais nous en savons assez déjà pour saisir dans son ensemble le grand phénomène de la nitrification, cause première de l'assimilation de l'azote par nos récoltes.

On peut ramener à trois phases principales l'approvisionnement du sol en azote assimilable par la plante :

1° Décomposition des matières organiques par les microbes ordinaires, qu'on trouve dans la terre en si grande abondance : formation d'ammoniaque par suite de cette décomposition ;

2° Transformation de l'ammoniaque en nitrite par les ferments nitreux ;

3° Oxydation des nitrites par le ferment nitrique : production dans le sol de nitrates terreux ou alcalins qui servent de nourriture azotée aux végétaux, autres que les légumineuses.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER (1905)

Nancy, imprimerie Berger-Levrault et Cie.

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

Comité de rédaction des Annales.

Correspondants des Annales pour les colonies et l'étranger.

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié, s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales *(chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.).*

Tout ce qui concerne la rédaction des Annales de la Science agronomique française et étrangère (*manuscrits, épreuves, correspondance, etc.*) *devra être adressé* franco *à M.* **L. Grandeau**, *rédacteur en chef, 48, rue de Lille, à Paris.*

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture

PAR

LOUIS GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE DE FRANCE
RÉDACTEUR EN CHEF DU « JOURNAL D'AGRICULTURE PRATIQUE »
PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES STATIONS AGRONOMIQUES
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE

2e SÉRIE — DIXIÈME ANNÉE — 1905

Tome II

Avec figures dans le texte

BERGER-LEVRAULT ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

PARIS — 5, RUE DES BEAUX-ARTS | NANCY — 18, RUE DES GLACIS

1906

LE PHOSPHATE DE CHAUX

ET

L'ALIMENTATION DU BÉTAIL

1. — Remarques générales

L'addition de phosphate de chaux au fourrage des animaux de la ferme a pris dans ces dernières années, notamment en Allemagne, une grande extension. On trouve dans le commerce toutes sortes de poudres alimentaires, en grande partie formées de phosphate, fréquemment mélangé de carbonate de chaux et additionné de plus ou moins grandes quantités de substances odorantes ou sapides, telles qu'anis, fenouil, genièvre, réglisse, etc.

La sécheresse extrême de l'année 1904, comme celle de l'année 1893, ont provoqué chez le bétail, en Allemagne, des accidents d'ostéomalacie, affectant presque, par leur expansion, un caractère épidémique. On sait que l'ostéomalacie et l'ingestion de sels minéraux, particulièrement de phosphate de chaux, présentent des liens étroits. M. le Dr Passon a jugé le moment favorable pour présenter aux cultivateurs (1) un résumé complet des principales recherches poursuivies depuis un quart de siècle sur le rôle du phosphate dans l'alimentation du bétail.

En même temps paraissait dans le n° 6 des *Landw. Versuchs-*

1. *Journal für Landwirtschaft,* 33e vol., fasc. 2, 1905.

stationen une étude expérimentale faite à la station de Möckern, sur le degré d'assimilabilité de la chaux et des différentes formes de phosphates calcaires par les jeunes animaux.

Avant d'exposer les importantes expériences du Dr Köhler et de ses collaborateurs, à Möckern, je passerai rapidement en revue les faits intéressants relevés dans l'étude du Dr Max Passon.

L'attention des physiologistes et des agronomes s'est portée depuis longtemps déjà sur la valeur alimentaire des phosphates. Les premières recherches expérimentales remontent à l'année 1873 : Weiske et de Wild ont soumis, à cette époque, des animaux à une même alimentation, sauf sur un point : dans celle des uns entrait une certaine quantité de phosphate de chaux, les autres n'en recevant pas. Après avoir constaté une assimilation à des degrés variables de ce sel, d'un animal à l'autre, ils ont analysé les os des animaux sacrifiés, et reconnu qu'ils ne présentaient aucune différence dans leur teneur en phosphate, malgré ces différences de régime. Hofmeister a confirmé ce fait. La conclusion des expériences des trois expérimentateurs a été que l'addition de phosphate au fourrage est sans action sur la formation de la chair et du système osseux, quand les aliments sont suffisamment riches naturellement en acide phosphorique, ce qui n'a pas lieu de surprendre. Le rapport entre les quantités d'acide phosphorique et de chaux assimilées n'est pas celui où les deux substances existent en combinaison dans le phosphate. Hofmeister a trouvé comme coefficient d'assimilation 37,5 °/₀ pour l'acide phosphorique et 23,8 °/₀ seulement pour la chaux. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

Raudnitz (1893) s'est proposé de déterminer dans des expériences sur le chien, le siège, dans le canal digestif, de l'absorption des sels terreux (chaux et strontiane). Il a constaté qu'elle s'effectue dans l'intestin, principalement au commencement du duodénum. Les carbonates sont résorbés en ce point, mais seulement lorsqu'ils ont été préalablement dissous dans le suc gastrique.

Pour vérifier l'opinion de beaucoup de praticiens qui admettent que l'addition de phosphate aux aliments des jeunes animaux rend leur squelette plus solide et en accroît la teneur en matières minérales, et sur l'observation de Weiske que le phosphate augmente la

production osseuse, Graffenberger a recherché l'influence de l'enrichissement du fourrage en phosphate consommé pendant la gestation. Le résultat de ses expériences fut que l'addition prolongée de phosphate neutre de chaux à la ration de la femelle gravide, n'a pas d'action sur le développement de l'être qu'elle porte dans ses flancs.

Quelle est l'influence du phosphatage et de l'addition de carbonate de chaux sur l'organisme dans le cas d'une alimentation avec des fourrages pauvres en chaux et en acide phosphorique? Que se passe-t-il dans le cas d'une alimentation riche en principes acides? Une série d'expériences a été entreprise par différents physiologistes pour élucider ces questions d'un grand intérêt. Nous allons en résumer brièvement les principaux résultats.

Forster soumet un chien à une alimentation contenant des quantités de substances azotées (viande) et de graisse suffisantes pour l'entretien de l'animal, mais exempte de matières minérales. Il constate, d'après les quantités d'acide phosphorique et de chaux éliminées par l'animal, qu'il a perdu, pendant l'essai, $13^{gr},57$ de chaux et $17^{gr},3$ d'acide phosphorique provenant de son squelette. Un animal privé de sels calcaires dans son régime dépérit presque aussi vite que si on lui supprime toute alimentation. Weiske a constaté que chez les adultes (chèvres) une alimentation pauvre en chaux ne modifie pas sensiblement la composition de leurs os.

Nessler, en 1873, proposa de substituer le phosphate précipité, titrant 36 à 40 °/₀ d'acide phosphorique, à la poudre d'os alors en usage, qui renferme seulement 20 à 22 °/₀ d'acide phosphorique combiné à de la gélatine facilement putrescible.

Lunin, en 1881, montra que le soufre qui fait partie constituante de l'albumine, se transforme, dans l'organisme, en acide sulfurique. Dans le cas d'une alimentation dépourvue de sels calcaires, cet expérimentateur montre que l'acide sulfurique ainsi produit ne rencontrant pas, dans les aliments, les bases nécessaires à sa saturation, emprunte la chaux aux tissus de l'animal, dont le dépérissement rapide entraîne bientôt la mort. Les expériences de Lunin sont confirmées par Weiske et d'autres observateurs, qui démontrent que l'acide libre, comme l'acide phosphorique ajouté à un fourrage

(foin), se comportent comme l'acide sulfurique et décalcarisent les tissus.

D'intéressantes expériences sur le porc ont été faites à la station d'essais du Wisconsin : elles ont montré l'influence considérable que les cendres phosphatées (cendres de bois) et la poudre d'os exercent sur l'utilisation de la farine de maïs par cet animal et sur la résistance de ses os à la fracture.

Un lot de porcs était exclusivement nourri avec du maïs et, comme boisson, recevait de l'eau additionnée d'un peu de sel. Un autre lot était soumis au même régime, mais on ajoutait au maïs de la farine d'os ou des cendres de bois. Pour atteindre un accroissement de poids vif de 50 kilogr., les animaux du premier lot ont consommé 319kg,5 de maïs. Dans le deuxième lot, les porcs ont consommé, pour produire le même croît (50 kilogr.), 255 et 246 kilogr. de maïs, suivant que ce dernier était additionné de poudre d'os ou d'un mélange de poudre d'os et de cendres. L'addition de phosphate a donc favorisé très notablement l'utilisation du maïs.

On a recherché, après abatage, comment se comportaient les os, au point de vue de leur rigidité et de leur résistance à la rupture.

Les os des porcs nourris sans addition de substance minérale au maïs étaient très faibles, les fémurs se rompaient déjà sous un poids de 150 kilogr. Au contraire, il fallait un poids de 295 kilogr. pour rompre les fémurs des animaux qui avaient consommé l'alimentation aux cendres de bois, et de 340 kilogr. chez ceux qui avaient reçu de la poudre d'os. Les os des porcs soumis à la farine d'os et aux cendres ajoutées au maïs laissèrent, par calcination, 50 % de cendres de plus que ceux des animaux alimentés au maïs seul.

La poudre d'os paraît donc avoir exercé une action supérieure à celle des cendres. Les truies ne doivent pas, d'après les observations du Wisconsin, être alimentées de maïs seul.

On a fait aussi d'assez nombreuses expériences sur l'influence que peut exercer le phosphatage du fourrage sur l'enrichissement du lait en acide phosphorique. Les résultats ont été contradictoires, mais, dans leur ensemble, ils paraissent établir le peu d'action de l'addition des phosphates sur la composition du lait, ce qui ne surprendra pas les physiologistes.

2. — Les maladies des os et l'alimentation phosphatée

Dans son remarquable *Traité des maladies du bétail* (1), le professeur Moussu a consacré un intéressant chapitre aux maladies des os, qu'il range en deux classes : les affections locales, telles que ostéites, périostites, nécroses, fractures, etc., assez rares chez le bétail de la ferme, et les affections générales, rachitisme et cachexie osseuse, beaucoup plus fréquentes et qui causent parfois de grandes pertes aux cultivateurs.

Le rachitisme est une affection des jeunes, une affection de croissance ; la cachexie osseuse est une maladie des adultes, mais il y a un certain degré de parenté entre les deux états morbides, car on peut les observer dans une même famille.

Le rachitisme et la cachexie osseuse (le professeur Moussu préfère cette dernière dénomination à celle d'ostéomalacie) ont pour caractéristique générale une diminution de la proportion normale des sels minéraux entrant dans la constitution des os.

La cachexie osseuse est une maladie générale, dont l'évolution lente et progressive dans le type cachectique, aboutit à des localisations apparentes prédominantes du système osseux. Elle est connue de longue date. Déjà signalée par Végèce, cette maladie est observée vers 1650 en Norvège, où on la combat par l'administration d'os pilés. Assez fréquente en Allemagne, elle a été étudiée en France, dès 1825, par Roux, mais c'est Zundel qui, le premier, en 1870, en donna une bonne description. Depuis cette époque, elle a été successivement signalée : dans l'Yonne, dans la Nièvre, l'Indre, la Vendée, Indre-et-Loire, Loir-et-Cher, Berry, en Sologne et en Beauce. Nos lecteurs consulteront avec grand profit le chapitre très documenté que M. Moussu lui a consacré.

Sans entrer dans aucun détail au sujet des opinions nombreuses qui ont été émises sur les causes du rachitisme et de la cachexie osseuse, je me bornerai à rappeler que la donnée admise à peu près

1. 1 vol. in-8, avec 189 figures dans le texte et 4 planches en chromotypographie, chez Asselin et Houzeau. Paris, 1902.

unanimement aujourd'hui, rattache l'évolution de la maladie à une alimentation défectueuse, et particulièrement à la consommation par le bétail de fourrages pauvres en chaux et en acide phosphorique. Les exemples abondent pour étayer cette opinion émise et soutenue d'abord en Allemagne, et qui ne rencontre plus que de rares contradicteurs. Les travaux de Cantiget ont démontré que la cachexie osseuse existe seulement là où les sols sont trop pauvres en acide phosphorique et en sels calcaires pour donner des fourrages suffisamment riches en ces substances, et que l'emploi d'engrais phosphatés dans ces terrains diminue les pertes de bétail dues à la cachexie qui finit par disparaître avec l'enrichissement du sol en acide phosphorique.

A côté de la cause déterminante due à l'alimentation, M. Moussu admet qu'il existe des causes favorisantes dont l'action est indéniable : telles, la lactation abondante, la gestation. La maladie est plus rare chez les bœufs. La misère physiologique, les mauvaises conditions d'hygiène interviennent aussi, et il est à remarquer que c'est toujours dans les années sèches et dans les années de disette fourragère que la cachexie osseuse fait ses plus grands ravages.

A ce sujet, les recherches de Bongartz (1894), et celles de Seelhorst (1900) sont particulièrement intéressantes et démonstratives : je vais les résumer.

Bongartz [1] a étudié le développement épidémique de la cachexie osseuse au printemps et dans l'été de 1894. Cette explosion a été, selon lui, la conséquence de la sécheresse de 1893. L'analyse de fourrages, faite par Stutzer, a mis en évidence la pauvreté des denrées alimentaires du bétail en acide phosphorique comme l'indiquent les chiffres suivants :

NATURE DES FOURRAGES	ACIDE PHOSPHORIQUE	
	Composition en 1894	Composition normale moyenne
—	—	—
	°/o	°/o
Betteraves fourragères . . .	0,43	0,80
Pailles	0,85	2,50
Foins.	2,92	4,30
Sons de blé	25,50	26,90

1. *Fühling's Landw. Zeitung*. 1894.

Plus le sol était sec, plus grande fut la production de la cachexie. Von Seelhorst (1) fit des observations analogues en 1900. Dans le trèfle, dit-il, l'assimilation de l'acide phosphorique n'augmente que par l'enrichissement du sol en eau, celle-ci provoquant la dissolution d'une quantité beaucoup plus grande des phosphates qui enrichiront la sève du végétal. Cet agronome a constaté que la teneur en acide phosphorique de la plante, étant de 0gr,550 dans le cas d'un terrain sec, s'élevait à 1gr,234 dans les parcelles arrosées, fumées comme les parcelles sèches.

La première coupe du trèfle a présenté, dans sa teneur en acide phosphorique, les écarts suivants dans les parcelles fumées et sans fumure, diversement pourvues d'eau :

	PARCELLES			
	Fumées		Non fumées	
	Acide phosphorique fixé	°/o	Acide phosphorique fixé (2)	°/o
	Grammes		Grammes	
Beaucoup d'eau	0,550	0,456	0,487	0,428
Quantité d'eau moyenne . .	0,880	0,536	0,844	0,553
Peu d'eau	1,234	0,540	1,097	0,523

L'influence de la sécheresse sur la composition de la récolte est donc manifeste. Von Seelhorst a constaté également une augmentation en acide phosphorique dans la teneur des pailles de céréales, avec une richesse croissante du sol en eau.

O. Kellner (3) a fait en 1894 l'analyse de foins et de pailles récoltés dans différentes exploitations, où l'on a constaté cette année-là l'apparition à plusieurs reprises de la cachexie osseuse chez le bétail nourri avec ces fourrages bruts. Dans tous les cas, on va le voir, il a constaté une insuffisance marquée d'acide phosphorique.

1. *Journal für Landw.* 1900.
2. Pour un même poids de trèfle.
3. *Fuhling's Landw. Zeitschrift.* 1901.

1 000 parties de cendres contenaient :

FOINS DES EXPLOITATIONS DE :		ACIDE phosphorique
Prairies	Schellerhau	2,17
	Drehbach	2,62
Foin annuel	Schellerhau	2,57
	Drehbach	2,76
	Marienberg	2,80
Foin moyen		**4,30**
PAILLES		
Paille d'avoine	Marienberg	0,41
	Drehbach	1,61
Paille d'avoine moyenne		**2,80**
Paille de seigle	Drehbach	0,84
Paille de seigle moyenne		**2,50**

Ces résultats confirment ceux qu'ont constatés antérieurement Karmrodt, Nessler et d'autres observateurs, qui ont également attribué la maladie à la trop faible teneur des foins et pailles en acide phosphorique.

Dans la plupart des cas une hygiène meilleure et l'addition de 30 à 50 grammes de phosphate de chaux, par jour et par tête, ont sauvé les animaux. On peut prévenir la maladie par une fumure phosphatée abondante des prairies et du sol qui portent d'autres récoltes fourragères. Les scories de déphosphoration produisent à ce point de vue les meilleurs résultats. Non seulement elles modifient très favorablement la nature de la flore des prairies par le développement des légumineuses et augmentent les rendements, mais elles favorisent à un haut degré l'enrichissement des plantes en principes alimentaires et particulièrement en acide phosphorique.

3. — Le phosphate de chaux et l'alimentation

Il n'existe plus aujourd'hui, je viens de le dire, aucun doute sur l'importance considérable de l'acide phosphorique et de la chaux pour l'organisme animal. Ces substances se rencontrent dans presque

tous les liquides et tissus du corps, en plus ou moins grande proportion. D'après les recherches de Schenke, la partie inorganique des os des mammifères contient 60 à 70 % de combinaisons phosphatées calciques; chez les oiseaux on en trouve de 75 à 85 %; chez les amphibies et les poissons 21 à 25 % seulement.

La condition de nutrition la plus favorable des jeunes animaux et des adultes est celle où ils trouvent dans leurs aliments naturels, à l'état de combinaisons organiques, les quantités d'acide phosphorique et de chaux qui leur sont indispensables. Dans des cas anormaux où les rations alimentaires sont constituées par certaines denrées en excès, telles que pailles, pulpes ou drêches, etc., etc., on peut craindre que les animaux ne reçoivent de trop faibles quantités d'acide phosphorique et surtout de chaux. La faiblesse de la teneur en ces principes de semblables aliments peut être compensée par une addition artificielle de phosphates calciques.

Parmi les substances atteignant ce but qu'on trouve aujourd'hui dans le commerce, le phosphate dit précipité et certains autres phosphates préparés industriellement occupent la première place. Les phosphates précipités du commerce sont fréquemment composés d'un mélange de phosphate tricalcique et de phosphate bicalcique, obtenu en précipitant par un lait de chaux les phosphates des os dissous dans l'acide chlorhydrique; mais c'est principalement leur richesse en phosphate bicalcique qui sert à en déterminer la valeur.

Les expériences déjà anciennes et nombreuses de Lehmann, von Gohren, Hofmeister, Weiske, Wildt, ont montré que l'acide phosphorique et la chaux du phosphate précipité sont assimilés par les animaux, mais elles ne renseignent pas sur la proportion suivant laquelle l'assimilation a lieu, autrement dit, sur le coefficient d'utilisation de ce sel. On ne sait pas davantage quelles quantités des diverses substances phosphatées qui sont l'objet de nombreuses réclames (farine d'os dégélatinés, os calcinés, cendre d'os, etc.), peuvent être substituées au phosphate précipité.

En l'absence de renseignements résultant d'expériences sur le coefficient d'assimilation des divers phosphates inorganiques, les collaborateurs de O. Kellner, l'éminent directeur de la station de Möckern, se sont proposé d'établir par des essais comparatifs la

valeur relative de ces différents phosphates ajoutés à l'alimentation ordinaire (1). A cet effet, dans une première série d'expériences (1903), ils ont soumis deux moutons d'un an à un essai complet d'alimentation (pesées et analyses des fourrages, récolte et analyse des fèces et de l'urine).

Le plan de l'expérience faite sur les animaux qui n'avaient pas encore acquis tout leur développement, a consisté à les soumettre à quatre périodes d'alimentation (II à V) avec le même fourrage, additionné des divers phosphates en quantité représentant, dans toute la durée de chaque essai, une addition de 5 grammes d'acide phosphorique réel, par jour et par tête.

Les périodes initiale et finale (I et VI) ont servi de témoins pour déterminer l'utilisation par les animaux du fourrage fondamental (sans addition de phosphates).

Dans chaque période, six à dix jours se sont écoulés avant la récolte quotidienne des fèces et de l'urine. L'eau donnée en boisson, *ad libitum,* était pesée chaque jour ; on avait déterminé sa teneur en chaux.

L'agneau n° 1 pesait 49kg,4 au début des expériences, 54kg,4 à la fin. Les poids de l'agneau n° 2 furent, respectivement, 48kg,8 au début et 52kg,1 à la fin. La nourriture donnée a été identique pendant toutes les périodes. Sa teneur en substance sèche et sa composition ont été déterminées pour chacune des périodes.

Les deux agneaux ont reçu, par jour, les quantités d'aliments suivantes :

ALIMENTS	SUBSTANCE SÈCHE	
	°/o	Grammes
400 grammes de paille d'avoine	85,21	340,84
300 — drêches de maïs	89,53	268,59
200 — fécule	80,52	161,04
100 — sucre	99,92	99,92
75 — gluten	89,32	66,99

On ajoutait, par tête, à chaque ration, 10 grammes de sel de cui-

1. « Ueber die Assimilation des Kalkes und der Phosphorsäure aus verschiedenen Kalkphosphaten durch wachsende Tiere. » Dr Köhler, Honcamp, Just. J. Volhard, Popp et Zahn. (*Versuchsstationen,* t. LXI, fasc. 5 et 6, 1905.)

sine. Les moutons ont toujours complètement consommé leurs rations.

En ce qui regarde la composition de chacun des aliments consommés, je me bornerai à indiquer leur teneur centésimale en matière azotée, en acide phosphorique et en chaux, en la comparant à celle des phosphates employés dans les expériences :

FOURRAGES	MATIÈRES protéiques	ACIDE phosphorique	CHAUX
	°/o	°/o	°/o
Paille d'avoine	5,13	0,351	0,344
Drêches de maïs	33,94	0,618	0,038
Gluten	69,63		
Sucre	»	0,944	0,125
Fécule	0,36		
Phosphate tricalcique	»	40,19	49,05
— bicalcique	»	42,23	33,82
Farine d'os dégélatinés	6,50	33,60	45,07
Os calcinés	»	40,94	53,69

Dans les périodes I et VI (fourrage sans addition de phosphates), les pertes du corps en acide phosphorique et en chaux ont été de $0^{gr},543$ d'acide phosphorique et de $1^{gr},254$ de chaux chez l'agneau n° 1, et de $0^{gr},162$ d'acide phosphorique et $0^{gr},801$ de chaux pour le n° 2, faits qui confirment les observations de Forster et de Voit, à savoir, que dans le cas d'une alimentation pauvre en acide phosphorique et en chaux, les os et le système musculaire de l'animal s'appauvrissent en ces deux substances.

Cette constatation va rendre d'autant plus sensible l'action des phosphates ajoutés aux aliments dans les périodes II à V.

Dans ces périodes, les quantités des divers phosphates nécessaires pour fournir aux moutons un poids égal de 5 grammes d'acide phosphorique ont été les suivantes.

Les moutons ont consommé dans leur mélange fourrager :

Période II. — Phosphate tricalcique	$12^{gr},44$
— III. — Phosphate bicalcique	11 ,57
— IV. — Farine d'os dégélatinés	14 ,88
— V. — Os calcinés	12 ,21

La digestibilité des principes organiques des fourrages a été

élevée et régulière, ce qui accentue les différences d'utilisation de la chaux et de l'acide phosphorique, suivant leur origine.

Dans la deuxième période, on a additionné la ration fondamentale de 12^{gr},44 de phosphate tricalcique, soit 5 grammes d'acide phosphorique et 6^{gr},102 de chaux. Le corps des animaux a assimilé (retenu) les quantités suivantes :

	ACIDE phosphorique	CHAUX
	Grammes	Grammes
N° 1	1,731	2,087
N° 2	1,814	1,679
Soit, en moyenne . . .	1,773	1,883

soit 35,5 °/₀ d'acide phosphorique et 30,8 °/₀ de chaux des quantités données.

Dans la troisième période, pendant laquelle les agneaux ont reçu, en addition à leur fourrage, 11^{gr},566 de phosphate bicalcique (= 5 grammes d'acide phosphorique et 3^{gr},912 de chaux), c'est-à-dire beaucoup moins de chaux que dans la période précédente, le corps des animaux a retenu (moyenne des deux agneaux) les quantités ci-dessous :

Acide phosphorique	1^{gr},299
Chaux	1 ,305

soit 26 °/₀ d'acide phosphorique et 33,4 °/₀ de chaux des quantités données.

Période IV. — 14^{gr},881 de farine d'os dégélatinés, ajoutés au fourrage, ont apporté 5 grammes d'acide phosphorique et 6^{gr},707 de chaux. — L'assimilation a été de :

Acide phosphorique	0^{gr},653
Chaux	1 ,459

soit 13,1 °/₀ d'acide phosphorique et 21,8 °/₀ de chaux.

Enfin, dans la cinquième période, l'addition de 12^{gr},213 d'os calcinés à la ration lui a fourni 5 grammes d'acide phosphorique et 6^{gr},557 de chaux. Le corps des agneaux a fixé en moyenne 0^{gr},708 d'acide phosphorique et 1^{gr},200 de chaux, soit 14,2 et 18,3 °/₀ de la chaux, des quantités ingérées.

De cette première série d'expériences, il résulte que les os dégélatinés et les os calcinés ont été les phosphates les moins bien utilisés par les animaux. L'assimilation de l'acide phosphorique et de la chaux a été de beaucoup supérieure dans le cas du phosphate tricalcique (35 °/₀) et du phosphate bicalcique (26 °/₀).

Ces résultats paraissent au premier abord surprenants, disent les auteurs de ces expériences; mais si on compare entre elles les périodes II et III, on voit que, dans le cas de l'alimentation au phosphate bicalcique, les animaux ont reçu $2^{gr},2$ de chaux de moins que dans la période II. L'utilisation moins bonne de l'acide phosphorique sous forme de composé bicalcique devrait, d'après cela, être attribuée à la teneur plus faible en chaux de la ration alimentaire.

Pour vérifier cette hypothèse, Köhler et ses collaborateurs ont entrepris, en 1904, une nouvelle série d'expériences dont les résultats sont des plus intéressants au point de vue du choix à faire des phosphates pour combattre la cachexie osseuse chez les animaux de la ferme.

Dans la première série d'expériences comparatives sur l'assimilation des différents phosphates de chaux par le mouton, Köhler et ses collaborateurs avaient constaté un fait qui les a surpris, à savoir, que l'acide phosphorique du phosphate précipité (phosphate bicalcique) avait été beaucoup moins bien utilisé par les animaux que le phosphate tricalcique (26 °/₀ contre 35 °/₀). Ils ont pensé que ce résultat pouvait être attribué à la teneur trop faible en chaux de la ration au phosphate précipité. Pour vérifier cette hypothèse, les expériences, reprises en 1904 sur deux agneaux de six mois, ont été conduites d'après le plan adopté l'année précédente.

La ration fondamentale n'a pas varié pendant la durée des expériences; elle se composait, par tête et par jour, des éléments suivants :

Paille d'avoine.	400	grammes
Son de blé	400	—
Gluten.	75	—
Sel de cuisine.	8	—
Phosphate tricalcique	2,5	— [1]

1. 1 gramme d'acide phosphorique et $1^{gr},23$ de chaux.

La substance sèche des fourrages et les phosphates complémentaires de la ration présentaient les teneurs centésimales suivantes en acide phosphorique et en chaux :

NATURE DES ALIMENTS	ACIDE phosphorique	CHAUX
—	—	—
	°/₀	°/₀
Paille d'avoine	0,244	0,527
Gluten	0,922	0,080
Son de blé.	0,346	0,052
Phosphate tricalcique	40,16	49,12
— bicalcique	41,99	33,59
Lactate de chaux	»	18,11

Deux périodes d'essai (I et VI) ont servi, comme dans les expériences de l'année précédente, à déterminer l'utilisation (la digestibilité) de la ration fondamentale.

Cette ration s'est montrée tout à fait suffisante pour l'entretien des animaux [1].

Le poids vif de l'agneau qui a parcouru toutes les phases de l'expérience était au début 27kg,800, à la fin 35 kilogr.

La ration fondamentale a fourni par jour à cet agneau 3gr,57 d'acide phosphorique et 3gr,46 de chaux, c'est-à-dire près de deux fois plus de ce dernier principe que n'en avaient reçu les deux moutons dans la série d'expériences de 1903. Dans les périodes destinées à servir de témoins, l'animal a fixé, dans ses tissus, 0gr,40 d'acide phosphorique et 0gr,08 de chaux de plus que les moutons soumis en 1903 à la ration fondamentale.

Dans la période II (1904), on a ajouté à la ration fondamentale quotidienne 7gr,5 de phosphate tricalcique (= 3 grammes d'acide phosphorique et 3gr,69 de chaux). L'animal a fixé dans son corps :

Acide phosphorique	1gr,16
Chaux.	1 ,31

soit 38,6 °/₀ d'acide phosphorique et 35,6 °/₀ de chaux des quantités données.

1. Un accident survenu au cours des essais a fait abandonner l'un des agneaux.

Dans la période III, l'agneau a reçu, par jour, une addition de 7gr,2 de phosphate bicalcique et 2gr,4 de chaux; il a fixé :

Acide phosphorique	1gr,05
Chaux.	1 ,23

soit 35 °/₀ d'acide phosphorique et 50,8 °/₀ de chaux des quantités données.

Le phosphate bicalcique est donc encore demeuré en arrière du phosphate tricalcique, au point de vue de l'assimilation de l'acide phosphorique : on voit cependant que les quantités d'acide phosphorique et de chaux assimilées, qui étaient respectivement de 26 °/₀ et de 33 °/₀ en 1903, se sont élevées, en 1904, à 35 °/₀ et à 50,8 °/₀; ces augmentations de l'utilisation supérieure de ces deux principes dans les expériences de 1904, semblèrent ne pouvoir s'expliquer que par la teneur en chaux plus élevée des rations de 1904. Pour avoir la preuve que le phosphate bicalcique est d'autant mieux assimilé que la ration qui le renferme est plus riche en chaux, on ajouta à la ration un sel de chaux soluble, le lactate de chaux, à la dose de 7gr,06 par jour. La chaux contenue dans ce poids de lactate (1gr,29 de chaux) correspond à celle que la ration au phosphate tricalcique renfermait en plus que la ration au phosphate bicalcique.

Dans la période IV, l'agneau a reçu par jour :

	ACIDE phosphorique	CHAUX
	Grammes	Grammes
Ration au phosphate bicalcique. . . .	3,02	2,42

additionné de :

Lactate de chaux . 7 grammes = 1gr,29 de chaux;

il a assimilé 1gr,64 d'acide phosphorique et 2gr,07 de chaux, soit **54,2** °/₀ d'acide phosphorique et **55,9** °/₀ de chaux des quantités consommées.

Le tableau ci-dessous résume les résultats de toutes les expériences :

DÉSIGNATION des agneaux	QUANTITÉS de phosphates de chaux ajoutées à la ration fondamentale	TENEUR en acide phosphorique	TENEUR en chaux	PROPORTION centésimale d'acide phosphorique et de chaux assimilés — Acide phosphorique	Chaux
Numéros	Grammes				
1 et 2 (1903).	12,44 de phosphate tricalcique.	5,000	6,102	35,5	30,8
4 (1904) . .	7,50 — —	3,000	3,690	38,6	35,6
1 et 2 (1903).	11,566 — bicalcique.	5,000	3,912	26,0	33,4
4 (1904) . .	7,2 — —	3,020	2,420	35,0	50,8
4 (1904) . .	7,2 — — / 7,06 de lactate de chaux. .	3,020	3,700	54,3	55,9
1 et 2 (1903).	14,881 d'os dégélatinés . . .	5,000	6,707	13,1	21,8
1 et 2 (1903).	12,213 d'os calcinés	5,000	6,557	14,2	18,3

Ces résultats montrent que les animaux soumis aux expériences ont assimilé le minimum d'acide phosphorique et de chaux (en proportions voisines) dans la poudre d'os dégélatinés et dans la cendre d'os. Ces faits justifient la moindre confiance qu'on accorde dans la pratique à l'emploi de ces deux phosphates dans l'alimentation du bétail. Ils montrent, en outre, que l'assimilabilité de l'acide phosphorique, de la chaux et du phosphate tribasique est plus grande qu'on ne l'admettait jusqu'ici, en l'absence d'expériences directes, il est vrai.

L'infériorité du phosphate bicalcique par rapport au phosphate tricalcique, au point de vue du coefficient d'assimilabilité, dépendait évidemment de la pauvreté de la ration en chaux, car l'addition d'un sel soluble de chaux au phosphate bicalcique a considérablement augmenté la fixation par l'animal de l'acide phosphorique et de la chaux. Le lactate de chaux ajouté a élevé le coefficient d'assimilabilité de l'acide phosphorique de 26 °/₀ et 35 °/₀ à 54 °/₀.

Les savants expérimentateurs de Möckern poursuivent leurs essais sur le rôle des sels de chaux, autres que le lactate, dans la fixation du biphosphate de chaux. En attendant, ils conseillent d'employer de préférence aux autres phosphates, le phosphate *précipité*, mélange de bi et triphosphate de chaux.

On a déterminé, à la station de Möckern, la solubilité au citrate (méthode de Petermann) des différents phosphates employés en 1903 et 1904 aux expériences que nous venons de résumer.

Ces analyses ont donné les résultats suivants :

NATURE DES PHOSPHATES	ACIDE PHOSPHORIQUE total	ACIDE PHOSPHORIQUE soluble au citrate	TENEUR en acide phosphorique soluble °/o d'acide phosphorique total
—	—	—	—
	°/o	°/o	°/o
Poudre d'os dégélatinés . . .	33.60	3,39	10,10
Os calcinés.	40,94	0,63	1,54
Phosphate tricalcique (1903).	40,19	3,47	8,64
— — (1904).	40,16	3,78	9,40
— bicalcique (1903).	43,23	39,27	80,84
— — (1904).	41,94	39,86	94,93

Un appendice au mémoire de Köhler contient tous les documents et analyses relatifs aux expériences : composition des rations, digestibilité, composition des excréments, quantités d'eau consommées, poids vifs, etc. J'y renverrai les lecteurs que le détail des recherches de la station de Möckern intéresserait particulièrement.

4. — Indications pratiques sur l'emploi du phosphate de chaux dans l'alimentation du bétail

Composition et prix du phosphate précipité. — Ce produit s'obtient, on le sait, en traitant par un lait de chaux (dissolution de chaux vive dans l'eau), le liquide qui résulte de la décomposition des os par l'acide chlorhydrique. L'action de cet acide sur les os verts a pour résultat de séparer les éléments qui les constituent en deux ordres de substances : les sels calcaires, phosphates, carbonates, etc., passent en dissolution, et les matières organiques (osséine, chondrine) qui forment la trame des os, sont ainsi isolées et servent à la fabrication de la gélatine (colle forte).

On prépare aussi le phosphate précipité en traitant, par un lait de chaux, une dissolution chlorhydrique d'un phosphate tricalcique minéral.

Quand on verse le lait de chaux dans la solution chlorhydrique, l'acide phosphorique se précipite à l'état de phosphate bicalcique et de phosphate tricalcique en proportions variables suivant le mode d'opérer; le phosphate bicalcique est presque toujours en grand excès dans le précipité. Certaines chaux sont préférables à d'autres pour la préparation du phosphate précipité destiné à l'alimentation du bétail, telle est du moins l'opinion des cultivateurs belges, à laquelle la grande usine de Pont-Brûlé, à Vievorde (Belgique), donne satisfaction en employant pour les opérations un calcaire particulier.

Le phosphate précipité renferme de 38 à 40 °/₀ de son poids d'acide phosphorique. Le prix de l'unité d'acide phosphorique y est actuellement de 53 à 54 centimes le kilogramme d'acide phosphorique, soit environ 18 fr. les 100 kilogr. de phosphate précipité, acheté par quantité d'au moins 50 kilogr. [1].

Quantité de phosphate précipité à introduire dans la ration des animaux. — Le phosphate précipité, convenablement fabriqué, est absolument inoffensif, même à des doses journalières très élevées, ainsi que l'a montré la pratique de certains cultivateurs belges, qui en ont fait consommer, paraît-il, jusqu'à 2 kilogr. par vingt-quatre heures, associés à la ration de bœufs adultes.

Il est difficile d'indiquer d'une façon rigoureuse, pour chaque espèce animale, la quantité de phosphate précipité à ajouter aux rations normales. Cette quantité dépend avant tout du but qu'on se propose, du poids vif et des conditions sanitaires du bétail. S'agit-il d'animaux sains, mais qu'on suppose insuffisamment alimentés en phosphates à raison de la pauvreté de leur ration (pulpes, paille ou foin de médiocre qualité), des doses variant de 15 à 25 grammes par jour, pour des moutons d'un poids vif de 30 à 45 kilogr., seront dans la plupart des cas suffisantes. Pour les veaux, on pourra porter la dose à 50 ou 60 grammes; pour les porcs, selon leur taille, on donnera de 80 ou 100 grammes; enfin, pour des bœufs, on pourra employer 100 à 150 grammes ou davantage. L'observation indiquera à l'œil

1. L'usine de Nanterre de MM. Roy et Cie livre ce produit, autant que j'ai pu savoir, dans les conditions de composition et de prix ci-dessus.



attentif de l'éleveur les augmentations en phosphate dont les rations sont susceptibles; mais, je le répète, cette substance étant inoffensive, on pourra, sans crainte, donner des doses assez élevées.

S'agit-il d'animaux menacés visiblement de cachexie osseuse, les quantités de phosphate à faire consommer devront être plus élevées que celles administrées aux animaux sains.

Ici encore, une observation attentive et les conseils d'un vétérinaire expérimenté devront guider l'éleveur.

Phosphatage des prairies. — Je reviens, en terminant, sur un point capital : l'enrichissement naturel des fourrages en phosphate par l'emploi des phosphates calcaires et surtout des scories Thomas, pour la fumure des terres. Dans une exploitation dont les terres reçoivent abondamment et régulièrement, comme fumure, des engrais phosphatés, on n'aura, pour ainsi dire, jamais besoin de recourir à l'addition de phosphates aux rations des animaux. Tout au plus devra-t-on y faire appel pour l'alimentation des jeunes bêtes, moutons, porcs ou veaux, pendant leur croissance.

Il va sans dire que les indications qui précèdent n'ont qu'un caractère général, qui ne saurait dispenser les éleveurs de suivre attentivement le régime alimentaire de leur bétail, afin d'y apporter dans chaque cas particulier les modifications que l'observation suggérera. Le proverbe allemand : « L'œil du maître engraisse le bétail », trouve toujours son application dans les écuries et les étables.

L. Grandeau.

LE TITANE

Propriétés du titane et de ses différents composés. — Études des différentes méthodes actuellement employées pour la séparation et le dosage de l'acide titanique et notamment dans certaines substances, fers, fontes, aciers, minerais de fer, bauxites, argiles, etc. — Études nouvelles sur le dosage de l'acide titanique. — Présence et dosage de l'acide titanique dans les sols et les végétaux, notamment dans la canne à sucre et la betterave.

Par H. PELLET et CH. FRIBOURG

PREMIÈRE PARTIE

PROPRIÉTÉS DU TITANE ET DE SES DIFFÉRENTS COMPOSÉS

Généralités. — Le titane fut entrevu dès 1790 par William Mac Gregor, pasteur de la paroisse de Menachan, village de Cornwall, en examinant un sable en grains noirs, trouvé dans le ruisseau de Gonhilly.

En 1794, Klaproth considéra le schorl rouge de Boirik (Hongrie) comme l'oxyde d'un métal hypothétique, le titanium ou titane [1]. Vauquelin et Hecht en 1795 montrent l'analogie du schorl rouge de Hongrie avec le rutile de Saint-Yrieix (Haute-Vienne), qui peut contenir jusqu'à 97,60 °/₀ d'acide titanique (Damour).

On connaît aussi, comme minerais du titane, l'anatase, la brookite, la perouskite, le sphène et divers titanates complexes rares.

On a également trouvé dans des scories de hauts fourneaux un azotocyanure de titane renfermant 78 °/₀ de titane.

---

1. L. Lévy. Thèse, 1891.

M. L. Lévy a obtenu le premier le titane à l'état cristallisé en faisant réagir du chlorure de titane sur les métaux (Thèse, 1891).

Le poids atomique a beaucoup varié. Il a été de 48,60, 50,35 et 55,60.

Aujourd'hui il a été admis comme étant de 48,1, l'oxygène étant 15,88, et de 47,7, l'hydrogène étant 1 [1].

D'après cela, l'acide titanique, en prenant le poids atomique nouveau, contiendrait 60,04 °/₀ de titane, tandis qu'en prenant l'équivalent de 50, on a le coefficient 60,975 (Carnot).

Réactions générales du titane. — Les solutions de titane sont réduites par le zinc; il se produit une coloration violette très caractéristique. On a également une coloration violette au chalumeau, par la perle avec le borax ou le sel de phosphore (flamme réductrice). La coloration devient rouge sang en présence du fer.

L'hydrate titanique précipité par l'ammoniaque se dissout dans les acides, mais moins facilement s'il a été lavé à l'eau bouillante.

Les alcalis précipitent l'oxyde de titane de ses solutions mais le redissolvent difficilement.

L'acide titanique se colore par l'eau oxygénée (Pisani). Dissoudre l'acide titanique dans l'acide sulfurique concentré, étendre d'un volume d'eau; puis, après avoir encore étendu d'eau, ajouter à froid du bioxyde de baryum et soumettre la solution à une précipitation fractionnée par l'ammoniaque, et on obtient une poudre jaune foncé.

La coloration produite par le titane avec l'eau oxygénée est très sensible : avec 1 gramme de titane par litre on a une couleur orange; avec $0^{gr},100$ on a une couleur jaune et avec $0^{gr},020$ on a une réaction incertaine [2].

M. L. Lévy a signalé divers réactifs nouveaux du titane [3]. Ces nouveaux réactifs sont principalement la morphine, les phénols,

1. Table des poids atomiques internationaux pour 1904. (*Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie,* numéro de juin 1904, p. 1255.)

2. D'après Schœn et Hepp et Weller.

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* 23 novembre 1886 et 13 octobre 1886, et Thèse, 1891, p. 73.



l'hydroquinone et l'acide salicylique, qui donnent des colorations très nettes et permettent de différencier l'acide titanique d'autres acides tels que les acides niobique, tantalique, stannique, molybdique, etc.

Réactions colorées par l'eau oxygénée et par le zinc. — *Par l'eau oxygénée.* — D'après nos essais voici ce que nous avons observé :

On a préparé différentes solutions sulfuriques d'acide titanique. On a pris 10 centimètres cubes de chaque solution et 5 centimètres cubes d'eau oxygénée. On a observé :

Pour les solutions à 20 grammes d'acide titanique par litre : une coloration jaune orangé très forte; pour les solutions à 1 gramme : jaune orangé fort; pour les solutions à $0^{gr},500$: jaune assez fort; pour les solutions à $0^{gr},200$: jaune clair, et pour les solutions à $0^{gr},100$: jaune très clair mais très net, et les colorations subsistent très longtemps.

Par le zinc. — Relativement aux colorations produites par le zinc on a observé ce qui suit :

Pris 10 centimètres cubes d'une solution d'acide titanique, plus 2 centimètres cubes d'acide sulfurique, plus un morceau de zinc.

Avec une solution à 20 grammes par litre, on a eu une coloration violette très intense ; avec une solution à 1 gramme par litre, on n'obtient pas la coloration immédiatement mais seulement après quelques heures, et la coloration violacée est très faible. On n'a plus de coloration avec les solutions d'acide titanique plus étendues.

La réaction du titane par l'eau oxygénée est donc bien plus sensible que celle fournie par le zinc.

Caractères microchimiques du titane. — M. E. Pozzi-Escot a indiqué comme suit les caractères microchimiques du titane :

« Les titanates fondus avec du bisulfate de potassium et traités par de l'eau oxygénée donnent avec la plus faible trace de titane une coloration rouge due à la formation d'acide pertitanique, très nette et très caractéristique.

« On peut également reconnaître le titane dans les solutions en les additionnant d'acide fluorhydrique, puis de chlorure de rubidium.

On obtient un fluotitanate de rubidium ($TiFl^4$, $2RbFl$, H^2O) en lamelles hexagonales oblongues et rectangles souvent tronquées sur les angles (1). »

DEUXIÈME PARTIE

I. — ÉTUDE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES ACTUELLEMENT EMPLOYÉES POUR LA SÉPARATION ET LE DOSAGE DE L'ACIDE TITANIQUE, ET NOTAMMENT DANS CERTAINES SUBSTANCES : FERS, FONTES, ACIERS, MINERAIS DE FER, BAUXITES, ARGILES, ETC.

Nous donnons ci-dessous un résumé de toutes les méthodes que nous avons pu recueillir sur le dosage de l'acide titanique, soit seul, soit en présence d'autres corps, dans différents ouvrages scientifiques ou publications spéciales.

Dosage de l'acide titanique (2). — On le pèse toujours comme tel en le séparant par l'ébullition ou par l'ammoniaque de ses solutions acides. Pour précipiter les solutions acides étendues, on les neutralise par un léger excès d'ammoniaque ; on laisse déposer le précipité qui ressemble à l'alumine, on le lave d'abord par décantation, puis sur le filtre, puis on le calcine après dessiccation.

Si le précipité renfermait de l'acide sulfurique, il faudrait faciliter le départ de cet acide par l'addition d'un peu de carbonate d'ammoniaque. L'acide calciné doit être pesé immédiatement, car il est très hygrométrique.

Il doit être parfaitement blanc après calcination. Si l'acide titanique est en solution sulfurique ou si cette solution est celle qui provient du traitement par l'eau froide de la masse obtenue par fusion d'un composé titanique avec le sulfate acide de potassium, il peut être

---

1. *Annales de chimie analytique*. 1899, p. 399.
2. *Dictionnaire* de Wurtz. t. V, p. 425.

précipité complètement par une ébullition prolongée de la liqueur très étendue. Il faut avoir soin de renouveler l'eau évaporée.

Il peut se précipiter plusieurs hydrates d'oxyde de titane ou d'acide titanique ; mais après calcination on a l'acide titanique correspondant à TiO^2 : 100 d'acide titanique = 60,04 de titane.

Dosage de l'acide titanique, d'après Frésenius. — Dans le traité de Frésenius [1], on trouve quelques détails qui en général sont d'accord avec ce qui est extrait du *Dictionnaire* de Wurtz. Mais il y a des observations importantes que nous signalons pour assurer la précipitation complète de l'acide titanique.

C'est ainsi que, dans le liquide qui a subi une *ébullition déjà prolongée,* il conseille d'ajouter de l'ammoniaque pour le neutraliser et de faire bouillir à nouveau, et de s'assurer qu'il n'y a plus de précipité.

Il conseille aussi de compléter l'essai en ajoutant de l'ammoniaque sur le liquide ayant bouilli sans précipiter ou sur le liquide filtré séparé du deuxième précipité d'acide titanique par filtration, et ce jusqu'à alcalinité franche. Faire bouillir à nouveau et voir s'il n'y a pas un précipité.

Naturellement cette addition d'ammoniaque ne peut se faire que dans une liqueur ne contenant pas d'oxydes précipitables par l'ammoniaque.

Enfin Frésenius recommande d'éviter l'emploi de l'acide chlorhydrique, qui gêne les précipitations. Si la liqueur contient de l'acide chlorhydrique libre, il faut l'éliminer par une évaporation à sec.

Généralités sur le dosage du titane [2]. — On dose généralement le titane sous forme d'acide titanique (TiO^2) qui ressemble à de la silice, mais dont il se distingue par sa solubilité dans l'acide sulfurique chaud et concentré et dans les sulfates acides.

a) Une dissolution sulfurique d'acide titanique diluée avec de l'eau et additionnée d'eau oxygénée fournit une coloration jaune orangé

1. *Analyse quantitative*, 6e édition française, p. 209.
2. L. Campredon, p. 786.



d'autant plus intense que la proportion d'acide titanique présente est plus élevée.

b) Fréquemment on sépare la silice de l'acide titanique par volatilisation du premier de ces corps par l'acide fluorhydrique qui est sans action sur le second. En cette occurrence il ne faut pas oublier d'ajouter à l'acide fluorhydrique quelques gouttes d'acide sulfurique, sans cela on volatiliserait aussi une partie de l'acide titanique ainsi que cela résulte d'essais suivants effectués par M. M. Beringer.

On a pris de 0,0352 à 0,052 d'acide titanique et on les a traités par HFl en quantités suffisantes pour volatiliser 1 gramme de silice sans et avec SO^3 :

TiO^2 pris	TiO^2 retrouvé après action de l'acide fluorhydrique	OBSERVATIONS
—	—	—
0,0466	0,0340	Sans acide sulfurique
0,0340	0,0340	Avec acide sulfurique
0,0414	0,0413	Id.
0,0520	0,0520	Id.
0,0352	0,0352	Id.

c) On peut aussi doser volumétriquement le titane en réduisant par le zinc la solution sulfurique d'acide titanique et réoxydant ensuite par le caméléon jusqu'à coloration rose persistante. Ce procédé est délicat, car le titane au minimum est très facilement peroxydable à l'air.

Dosage du titane. Méthode générale de David Forbes. — La substance à analyser est d'abord réduite en poudre fine puis placée dans un creuset de platine et additionnée d'acide sulfurique concentré de manière à former une pâte très liquide. On chauffe le creuset pendant plusieurs heures de façon à ce qu'il y ait un léger dégagement de vapeurs d'acide sulfurique, mais sans cependant faire bouillir. L'acide titanique se dissout. On laisse ensuite refroidir complètement et on verse rapidement le contenu du creuset dans une capsule contenant une grande quantité d'eau froide. On lave le creuset à l'eau froide. On filtre pour séparer les matières insolubles qui peuvent être, outre la silice, des sulfates de chaux, de baryte et

de strontiane (suivant les matières à analyser). On lave le filtre avec soin.

On neutralise presque la liqueur filtrée par la soude caustique. On ajoute quelques gouttes d'acide azotique et on fait bouillir pendant quelque temps en remplaçant l'eau au fur et à mesure qu'elle s'évapore afin de déterminer la précipitation de l'acide titanique. On laisse déposer. On filtre la liqueur. On reçoit l'acide titanique sur le filtre et on lave. On sèche, on calcine avec un peu de carbonate d'ammoniaque afin de chasser les traces d'acide sulfurique et on pèse. L'acide titanique ainsi obtenu ne doit présenter qu'une légère coloration jaunâtre. S'il était coloré en rouge ou en jaune rougeâtre par suite de la présence d'un peu d'oxyde de fer, il faudrait le refondre avec du bisulfate de soude, dissoudre la masse dans un excès d'eau froide, ajouter quelques gouttes d'acide nitrique, et précipiter l'acide titanique par une ébullition prolongée [1].

Recherches de M. L. Lévy sur les meilleures conditions à remplir pour obtenir un dosage exact de l'acide titanique. — M. Lucien Lévy a beaucoup étudié les méthodes de dosage du titane et l'examen de la pureté de l'acide titanique.

Il a soutenu une thèse sur ce sujet en 1891 et nous avons eu la bonne fortune de pouvoir lire en entier ce travail dans lequel se trouvent une foule de renseignements très intéressants.

Au point de vue du dosage du titane, M. L. Lévy a étudié l'influence de l'acide sulfurique et du sulfate de potasse, ainsi que d'autres substances sur l'exactitude du dosage du titane, et il a prouvé que si les sulfates n'avaient pas d'influence, il fallait surtout avoir une acidité régulière de la liqueur correspondant à $0^{gr},5$ pour 100 centimètres cubes en acide sulfurique.

M. L. Lévy a montré que la précipitation directe de l'acide titanique par ébullition prolongée en présence du fer donnait lieu à des résultats inexacts, une partie du fer se précipitant plus ou moins avec l'acide titanique. Mais depuis on a constaté qu'il suffisait de tenir le fer à l'état minimum pour l'empêcher de se précipiter.

1. Joignaux, E[n] 1888, p. 362.

M. Lucien Lévy a bien voulu résumer la méthode qu'il préconise comme la meilleure pour le dosage du titane.

1° Fondre avec précaution au creuset de platine 1 gramme ou 1gr,500 de bisulfate de potasse légèrement arrosé d'acide pur.

2° Y verser 0gr,300 de la matière à analyser finement pulvérisée;

3° Après fusion, dissoudre dans environ 300 centimètres cubes d'eau, neutraliser exactement par l'ammoniaque et réaciduler au moyen de l'acide sulfurique pur de façon à avoir une acidité de 5 grammes par litre;

4° ***Faire bouillir six heures***, en remplaçant l'eau évaporée pour maintenir le volume. Filtrer, laver, sécher, calciner dans un creuset de platine, peser : soit P le poids;

5° Si l'on veut avoir l'alumine, évaporer l'eau mère en y ajoutant de l'hyposulfite de soude;

6° Le précipité P est redissous par de l'acide sulfurique et du fluorure d'ammonium (+ environ 1 gramme d'acide sulfurique); bien calciner jusqu'à poids constant. Peser : la perte de poids indique la silice (p) qui s'était précipitée avec l'acide titanique;

7° Redissoudre le précipité comme au début, y ramener le fer à l'état minimum par l'addition de sulfite de soude et en maintenant la liqueur acide. On renouvelle l'ébullition durant six heures dans les mêmes conditions et on a cette fois le précipité d'acide titanique pur (P′) et $\mathrm{P}p\mathrm{P}' =$ le poids d'oxyde de fer. On peut le doser dans la liqueur débarrassée d'acide titanique.

Vérification de la pureté de l'acide titanique, d'après L. Lévy. — On peut vérifier la pureté de l'acide titanique principalement au point de vue de la présence du fer.

M. L. Lévy a donné le procédé ci-après :

Dans un verre de montre bien sec placer l'acide titanique à essayer avec quelques gouttes d'acide sulfurique concentré.

Cependant, si l'acide titanique a été fortement calciné, il est préférable de le dissoudre à chaud dans l'acide sulfurique concentré et de prendre quelques gouttes de la solution; faire tomber sur l'acide des poussières d'un phénol bien sec (le phénol ordinaire par exemple).

On a dans ce cas une coloration alizarine très forte; s'il y a du fer, la teinte tourne au violet.

Remarque. — Éviter l'eau et l'acide nitrique.

Cette réaction est la moins sensible au point de vue de l'acide titanique, mais cela permet mieux de voir la modification de la coloration due au fer.

Dosage de l'acide titanique, d'après Fuchs (1). — « Fuchs a proposé de doser d'une manière indirecte l'acide titanique contenu dans une solution en faisant bouillir celle-ci avec une quantité connue de cuivre métallique, à l'abri de l'air. L'acide titanique est réduit et il se dissout une quantité de cuivre correspondant à un atome pour deux molécules d'acide titanique. »

Dosage de l'acide titanique, d'après Pisani (1). — Pisani a indiqué également un procédé de dosage de l'acide titanique par réduction de l'acide titanique :

« Dans son procédé, on réduit la solution d'acide titanique par le zinc, à l'abri de l'air; on l'étend ensuite d'eau bouillie et on titre par une solution de permanganate la quantité d'acide titanique réduite par le zinc. »

SÉPARATION DE L'ACIDE TITANIQUE DE DIFFÉRENTES SUBSTANCES

Des différents modes de séparation du fer et de l'acide titanique

Généralités (2). — 1° Soit en calcinant au rouge, réduisant par l'hydrogène et traitant par un acide, tel que l'acide azotique faible;

2° Soit en formant des chlorures sensiblement neutres, ajoutant de l'acide sulfureux pour réduire le fer au minimum et portant à l'ébullition un peu prolongée à l'abri de l'air pour précipiter l'acide titanique seul;

1. *Dictionnaire* de Wurtz, t. V, p. 426.
2. A. Carnot, *Traité d'analyse des substances minérales*, t. II, p. 689.

3° Soit en précipitant par le sulfhydrate l'acide titanique et le sulfure de fer et redissolvant ce dernier seul par l'acide sulfureux;

4° Soit en neutralisant la solution d'une manière imparfaite, ajoutant de l'hyposulfite de sodium à froid et, quand la réduction du sel ferrique est achevée, portant à l'ébullition pour précipiter l'acide titanique seul.

Séparation du titane et du fer (1). — « Cette séparation est difficile à effectuer d'une manière complète par l'ébullition de la solution acide. L'acide titanique en se précipitant entraîne toujours du fer dans sa précipitation. Le seul procédé qui permette d'effectuer cette séparation repose sur l'emploi de l'hyposulfite de sodium qui maintient le fer en dissolution sans empêcher la précipitation de l'acide titanique lorsqu'on fait bouillir. A cet effet on ajoute ce sel à la solution provenant de l'attaque par le sulfate acide de potassium et l'on porte à l'ébullition. L'acide titanique calciné doit être parfaitement blanc.

« S'il n'en était pas ainsi, ce qui arrive lorsqu'on a suivi une autre marche (ou que l'addition de l'hyposulfite de sodium a été insuffisante), on traite la matière colorée par le sulfate acide de potassium comme il a été dit plus haut et on sépare le fer à l'aide de l'hyposulfite. »

On a aussi recommandé de traiter l'acide titanique ferrugineux par le sulfure ammonique en excès. Par une digestion de quelques heures avec le réactif tout le fer se transforme en sulfure et l'acide titanique reste inaltéré. On étend d'eau le mélange, on lave le dépôt et on traite celui-ci par l'acide sulfureux qui dissout le sulfure de fer.

Séparation du titane et du fer, d'après J. Otis Handy (2). — Dans un mémoire de M. J. Otis Handy nous trouvons quelques indications utiles pour assurer la précipitation de l'*acide titanique* et *sa séparation de l'oxyde de fer*. Admettons que l'on ait de l'acide titanique, de l'oxyde de fer et de la silice.

1. *Dictionnaire* de Wurtz, t. V, p. 426.
2. *Annales de chimie analytique*, 1897, p. 91.



On fond la matière avec dix fois son poids de bisulfate de potasse, dans un creuset de platine.

La fusion est conduite exactement comme suit : on choisit un bon brûleur Bunsen protégé par une cheminée en tôle. On place sur le triangle le creuset avec une flamme longue de 4 centimètres. On augmente la chaleur graduellement de façon qu'en dix minutes le quart inférieur du creuset soit porté au rouge. On le maintient dix minutes à cette température en enlevant le couvercle toutes les deux minutes et en faisant tourner le creuset doucement, puis on augmente la flamme jusqu'à atteindre et à envelopper le sommet du creuset. Cinq minutes de ce traitement font retomber le bisulfate qui aurait pu s'élever sur les bords. La flamme est baissée et le quart inférieur du creuset est chauffé pendant dix minutes. On refroidit, on dissout dans environ 200 centimètres cubes d'eau. On filtre. (Le résidu retenu sur le filtre contient toute la silice.) Le filtrat contient tout l'acide titanique et l'oxyde de fer. On ajoute de l'ammoniaque jusqu'à léger précipité permanent, puis on le redissout avec SO^3 dilué employé en quantité juste suffisante, puis on en ajoute un excès de 1 centimètre cube. On dilue à 300 centimètres cubes. Si la solution paraît riche en fer, on fait passer un courant d'acide sulfureux, jusqu'à décoloration ; dans le cas contraire, on ajoute seulement un peu de solution d'acide sulfureux pour la réduction. On fait bouillir *pendant une heure* en ajoutant de temps à autre un peu d'acide sulfureux. On filtre l'acide titanique à travers un double filtre et on lave à l'eau chaude. On calcine et on pèse l'acide titanique. Si le précipité est jaune, il faut le refondre avec du bisulfate.

Séparation de l'acide titanique du fer, d'après M. J. Morgan [1]. — Si nous supposons un minerai de fer, on opère de la manière suivante : prendre 1 gramme de minerai, ajouter 1 gramme de phosphate d'ammoniaque dissous dans une très petite quantité d'eau, et on effectue la dissolution par digestion avec HCl ; quand celle-ci est complète, on évapore à sec dans une capsule. On redissout le résidu dans HCl dilué et le résidu insoluble est recueilli et

---

1. *Annales de chimie analytique*, 1897, p. 272.

lavé sur un filtre. Il renferme tout l'acide titanique à l'état de phosphotitanate de fer (Arnold). Le lavage doit se faire d'abord avec HCl dilué et chaud, puis avec de l'eau froide jusqu'à élimination complète des sels de fer.

Le filtre et son contenu sont séchés, puis calcinés dans un creuset de platine ; on mélange le produit de cette calcination avec environ dix fois son poids de carbonate de potasse. On fond et après refroidissement on traite par l'eau bouillante ; on recueille le résidu insoluble et on le lave complètement à l'eau chaude. Le filtre et son contenu sont séchés, calcinés, puis le résidu mélangé avec environ six fois son poids de bisulfate de potassium ; on fond au-dessous du rouge en maintenant à cette température pendant une demi-heure. Le produit de la fusion après refroidissement est traité par 10 centimètres cubes de HCl et 50 centimètres cubes d'acide sulfureux. On filtre et on lave à l'eau chaude. Le filtratum est dilué ; on y ajoute 20 grammes d'acétate de soude en solution et un sixième de son volume d'acide acétique cristallisable. On porte à l'ébullition pendant quelques minutes. Le précipité obtenu dans ces conditions est filtré, lavé avec de l'eau contenant quelque peu d'acide acétique. On le sèche, on calcine et on pèse : c'est de l'acide titanique absolument pur.

Séparation de l'acide titanique de la silice [1]. — « Il arrive quelquefois que l'acide titanique précipité est mélangé de silice. Pour l'en séparer on le traite par l'acide sulfurique concentré et chaud qui dissout l'acide titanique. Après refroidissement on verse le tout dans l'eau en empêchant la température de s'élever ; on filtre pour séparer la silice et on porte la solution à l'ébullition pour précipiter l'acide titanique.

« On soumet au besoin la silice à un second traitement semblable. »

On peut aussi se débarrasser de la silice en attaquant par l'acide sulfurique en présence d'acide fluorhydrique. Toute la silice est transformée en fluorure de silicium qui se volatilise (Scheurer).

1. *Dictionnaire* de Wurtz, t. V, p. 426.

Séparation de l'acide titanique et de la silice des bases par l'acide formique, d'après Leclère ([1]). — « D'après M. Leclère, l'acide titanique et l'acide silicique peuvent être facilement isolés des bases (sesquioxydes et protoxydes) si, après fusion avec du carbonate de soude (ou de l'oxyde de plomb) en vue de rendre la matière attaquable par les acides, on traite la masse par de l'eau chaude et par une quantité d'acide formique telle que les bases une fois saturées il reste environ 5 °/₀ d'acide formique libre. On laisse pendant deux jours à la température de 100°. »

Séparation de l'acide titanique de l'alumine ([2]). — « La solution sulfurique est étendue d'eau et soumise à une ébullition prolongée. L'acide titanique se précipite et l'alumine reste entièrement dissoute.

« Dans quelques cas on peut faciliter la préparation de l'acide titanique par l'addition d'ammoniaque lorsque celle-ci ne précipite pas l'oxyde métallique, ou qu'elle peut le redissoudre après l'avoir précipité. »

Dosage de l'acide titanique dans les minerais de fer. — De l'ouvrage de M. L. Campredon ([3]) nous extrayons les notes ci-après :

Dosage du titane. Principe. — Séparer le titane sous forme de phosphotitanate de fer qui est fondu avec le carbonate de potasse de manière à obtenir un trititanate de potasse insoluble lequel est séparé des phosphates et de l'alumine, qui se dissolvent. Le titanate est désagrégé par le sulfate acide de potasse et finalement on sépare l'acide titanique par une ébullition prolongée.

Mode opératoire. — Prendre 6 grammes de minerai que l'on met dans une capsule de porcelaine. On ajoute 10 centimètres cubes d'une solution de phosphate d'ammoniaque ([4]) à 10 °/₀ et 60 centimètres

---

1. *Traité d'analyse des substances minérales*, par A. Carnot, 1904, p. 687.

2. *Dictionnaire* de Wurtz, t. V, p. 426.

3. *Dosage du titane dans le fer, etc.*, p. 511.

4. L'addition de phosphate d'ammoniaque a pour but de transformer en phosphotitanate de fer insoluble la totalité du titane de telle sorte que la liqueur ferrique en est exempte. Cette manière de procéder facilite grandement l'analyse.



cubes d'acide chlorhydrique pur. On évapore à sec et on chauffe assez fortement, puis on reprend par l'acide chlorhydrique et on filtre pour séparer le résidu siliceux insoluble contenant le phosphotitanate de fer. Le résidu est desséché, calciné et fondu dans une capsule de platine avec 10 grammes de carbonate de potasse ; on maintient la masse en fusion tranquille pendant dix minutes, puis on laisse refroidir et on reprend par l'eau chaude qui dissout le phosphate et l'aluminate de potassium et laisse du trititanate de potasse et de l'oxyde de fer insolubles. Ceux-ci sont recueillis sur filtre, lavés, calcinés et fondus dans un creuset de platine avec 3 grammes de sulfate acide de potasse qui fournit du sulfate de titane et du sulfate de fer. S'il restait un peu de silice, elle demeure insoluble. On reprend avec 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique fort et 50 centimètres cubes d'acide sulfureux en solution saturée ; on chauffe doucement, on verse dans un ballon de 120 centimètres cubes, on complète le volume et on filtre sur un papier sec. Tout le fer doit se trouver au minimum d'oxydation. On prend 100 centimètres cubes de la liqueur filtrée (correspondant à 5 grammes de minerai), on les verse dans un ballon de 1 litre, on étend avec 500 ou 600 centimètres cubes d'eau bouillante et on chauffe à l'ébullition de manière à réduire le volume de la liqueur à 250 centimètres cubes environ. Dans ces conditions l'acide titanique se sépare et on le recueille sur un filtre sans cendres. On le pèse après calcination. $TiO^2 \times 0{,}60 = Ti$.

Remarques. — I. L'exactitude de la méthode ci-dessus indiquée par Arnold n'est pas à l'abri de tout reproche ; elle présente l'avantage d'être relativement simple et de permettre la concentration du titane dans le résidu insoluble.

II. A propos du dosage du titane dans les fontes et aciers, nous examinerons la méthode préconisée par Ledebur, au cours de laquelle on sépare la majeure partie du fer de la solution ferrique au moyen de l'éther, suivant les indications de Rothe.

III. Si l'on se propose de doser isolément le titane dans un minerai, on pourra suivre la méthode suivante : placer de 1 à 5 grammes de minerai dans une nacelle de porcelaine que l'on introduit dans

un tube de porcelaine chauffé au rouge, et traversé par un courant d'hydrogène sec. L'oxyde de fer est réduit avec production de fer métallique; après réduction, la matière est traitée par l'acide sulfurique dilué qui dissout le fer et laisse comme résidu la matière siliceuse et l'acide titanique. Le résidu est filtré, lavé, calciné, fondu avec un excès de sulfate de potasse acide et on continue comme dans la méthode ci-dessus décrite.

IV. On peut évaluer colorimétriquement la proportion de titane en ajoutant quelques gouttes d'eau oxygénée à la solution sulfurique de l'acide titanique. On obtient de la sorte une coloration jaune orangé d'autant plus intense que la quantité d'acide titanique est plus élevée.

Pour divers dosages du titane, M. L. Campredon recommande aussi l'ébullition prolongée en général durant au moins trois quarts d'heure, et quand on doit séparer le fer, en le maintenant soluble à l'aide d'acide sulfureux, d'ajouter de cet acide de temps en temps pour bien maintenir en dissolution le fer à l'état de sulfate de protoxyde de fer (pages 241-262).

Dosage du titane dans les fers, aciers, fontes [1]. — Deux méthodes :

« 1° *Dosàge en présence de la totalité du fer,* d'après Arnold. — A cet effet on opère sur $1^{gr},2$, $2^{gr},4$ ou 6 grammes auxquels on ajoute $0^{gr},500$ de phosphate d'ammoniaque; on dissout au moyen de 30 à 60 centimètres cubes d'acide nitrique de densité de 1,20 et on évapore à sec. On reprend par HCl et on évapore de nouveau à sec. On reprend par HCl et de l'eau en excès, puis on filtre pour séparer SiO^2, le graphite et le phosphotitanate de fer. Le filtrat est exempt de titane. On sèche et on calcine le résidu qui est fondu avec 10 grammes de carbonate de potasse, puis on reprend par l'eau et on filtre. Le résidu est séché, calciné et fondu avec du sulfate acide de potasse et on reprend par HCl. On ajoute 50 centimètres cubes

1. Extrait de l'ouvrage de M. Campredon intitulé : *Guide du chimiste métallurgique et de l'essayeur*, p. 620.



d'acide sulfureux en dissolution aqueuse, puis on maintient à une douce chaleur.

« La silice reste insoluble. On fait 120 centimètres cubes dont on prélève 100 centimètres cubes (= 1, 2 ou 5 grammes de matière) par filtration partielle. On introduit dans un grand gobelet, on étend à 1 litre et on fait bouillir jusqu'à réduction du volume à 250 centimètres cubes. Il se forme de l'acide métatitanique qu'on laisse déposer: filtrer, calciner et peser comme acide titanique. $TiO^2 \times 0,60 = Ti$.

« 2° *Dosage du titane après élimination de la presque totalité du fer*, d'après M. Ledebur. — On opère sur 5 à 10 grammes de métal que l'on dissout dans l'acide nitrique, on évapore à sec et l'on reprend par l'acide chlorhydrique. Filtrer pour séparer la silice plus le graphite. Le résidu est exempt d'acide titanique qui passe entièrement dans la liqueur. Cette dernière est concentrée et épuisée en une ou plusieurs fois avec de l'éther. La solution aqueuse retient le titane sous forme de chlorure, il suffit d'évaporer à sec pour insolubiliser l'acide titanique. On humecte avec HCl, on étend avec de l'eau et on filtre l'acide titanique qui est séché, calciné et pesé.

« A titre de précaution on pourra désagréger le résidu siliceux avec du carbonate de potasse afin de rechercher l'acide titanique en suivant la méthode indiquée par M. Arnold et décrite ci-dessus.

Dosage du titane dans les fers et aciers, d'après M. G. Waterhouse. — Cette méthode peut s'appliquer à la séparation du titane d'avec le fer [1].

Admettons que l'on ait la solution des bisulfates amenée à un volume de 150 centimètres cubes.

« On ajoute à ce liquide de l'ammoniaque diluée jusqu'à ce qu'on obtienne un précipité permanent qu'on redissout en ajoutant quelques gouttes d'HCl; on ajoute avec précaution et très lentement 50 centimètres cubes d'une solution de sulfite de soude à 20 °/₀ et

1. *Annales de chimie analytique*, 1902. p. 391.

l'on porte à l'ébullition. On l'additionne de 50 centimètres cubes d'acide acétique cristallisable préalablement chauffé et de 20 grammes d'acétate de soude, et l'on fait bouillir le tout très vivement durant cinquante minutes (en maintenant le volume par addition d'eau bouillante). Le précipité est recueilli, lavé et calciné.

« L'oxyde obtenu est fondu pendant quelques minutes avec 10 grammes de carbonate de soude pur. Après refroidissement, le produit est traité par 150 centimètres cubes d'eau chaude, le précipité est bien lavé et redissous dans un peu de HCl. On ajoute 10 centimètres cubes d'acide sulfurique dilué et la solution est évaporée jusqu'à l'apparition de fumées de SO^4H^2. On laisse refroidir et l'on dilue à 50 centimètres cubes, puis on filtre. »

Le filtratum est amené à 150 centimètres cubes, rendu légèrement alcalin par de l'ammoniaque, et rendu très légèrement acide par un peu d'HCl ; ajouter 20 centimètres cubes d'une solution de sulfate de soude, porter à l'ébullition et ajouter encore de l'acide acétique cristallisable et de l'acétate de soude comme il a été dit une première fois. Porter à l'ébullition, maintenir cinquante minutes. Le précipité recueilli sur filtre, bien lavé et calciné, est pesé comme TiO^2. Cette méthode a donné d'excellents résultats, d'après l'auteur, sur des mélanges connus.

Dosage du titane dans la bauxite [1]. — Prendre $1^{gr},500$ de matière finement pulvérisée préalablement desséchée à 100° et conservée à l'abri de l'humidité.

Dissoudre dans une capsule de porcelaine au moyen de 50 centimètres cubes d'un mélange d'acides composé comme suit :

100 centimètres cubes d'acide azotique pur (densité, 1,42) ;

300 centimètres cubes d'acide chlorhydrique (densité, 1,20) ;

600 centimètres cubes d'acide sulfurique à 25 °/₀.

On chauffe doucement jusqu'à formation des fumées blanches qu'on laisse dégager pendant quinze minutes environ. Après refroidissement, on reprend avec 100 centimètres cubes d'eau et on fait bouillir dix minutes. On filtre, on lave à l'eau en recevant les liquides

1. L. Campredon, p. 261.

dont le volume ne doit pas dépasser 200 centimètres cubes dans un gobelet de 300 centimètres cubes.

Le résidu est séché, calciné et pesé. Il consiste principalement en silice mélangée de traces d'acide titanique, d'oxyde de fer et d'alumine.

On volatilise la silice au moyen de trois gouttes d'acide sulfurique et de 5 centimètres cubes d'acide fluorhydrique dans une capsule ou un creuset de platine ; la perte de poids représente la silice.

Le résidu de la volatilisation est fondu avec 1 gramme de bisulfate de potasse ; on reprend par l'eau et l'on filtre, s'il y a lieu, pour séparer un peu de silice que l'on pèse et dont on ajoute le poids au premier chiffre obtenu. On joint la liqueur filtrée à la première et cette dissolution contient alors la totalité de l'acide titanique, de l'oxyde de fer et de l'alumine.

TiO^2, Fe^2O^3, Al^2O^3. — On parfait à 300 centimètres cubes le volume de la liqueur filtrée et on prend 100 centimètres cubes = 0^{gr},500 de bauxite. La prise d'essai est diluée à 300 centimètres cubes environ et additionnée de quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique fort et d'un excès d'ammoniaque ; on fait bouillir pendant cinq minutes et on recueille sur un filtre le précipité d'acide titanique, de peroxyde de fer et d'alumine qui est lavé, séché, calciné et pesé.

TiO^2. — Prendre 100 centimètres cubes de liqueur = 0^{gr},500 de bauxite, diluer à 400 centimètres cubes environ avec de l'eau, neutraliser exactement par de l'ammoniaque et acidifier légèrement par addition de 1 centimètre cube d'acide sulfurique à 25 °/₀. Puis on réduit le fer au minimum d'oxydation en ajoutant 20 à 30 centimètres cubes d'une solution aqueuse d'acide sulfureux et on fait bouillir pendant une heure en remplaçant l'eau au fur et à mesure qu'elle s'évapore.

De cette façon l'acide titanique se sépare sous forme de flocons blancs, qui sont filtrés, lavés, calcinés et pesés.

Fe^2O^3. — Prendre 100 centimètres cubes de liqueur = 0^{gr},500 de bauxite et ajouter 10 centimètres cubes d'acide sulfurique à 25 °/₀ et 1 gramme de zinc en poudre. Après réduction du fer au minimum, on titre au permanganate, etc.

Dosage du titane dans la bauxite, d'après J. ZAMARON (1). — Dans une étude sur l'analyse des bauxites, M. J. Zamaron indique la méthode générale de dosage du titane, c'est-à-dire :

1° En séparant le titane précipité à l'état d'acide titanique d'avec la silice, au moyen du fluorure d'ammonium, et l'acide sulfurique. On a l'acide titanique par résidu ;

2° En fondant la masse avec du sulfate acide d'ammoniaque et en suivant la marche ordinaire de précipitation de l'acide titanique par ébullition prolongée.

Mais il y a aussi du titane en solution chlorhydrique avec l'alumine, le fer, etc.

Si on traite par l'ammoniaque, on a le fer, l'alumine et l'acide titanique.

Pour la séparation on fait fondre le précipité d'acide titanique, de fer et d'alumine avec du bisulfate d'ammonium ou de sodium, on dissout la masse dans l'eau froide, on neutralise par du carbonate de soude et on étend d'eau de façon à avoir au plus 0gr,1 des oxydes dans 50 centimètres cubes. On ajoute alors à froid dans la solution un léger excès d'hyposulfite de soude ; on attend que le liquide, d'abord violet, soit complètement décoloré et que tout le peroxyde de fer soit ramené à l'état de protoxyde. Chauffer à l'ébullition jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'acide sulfureux. Filtrer et laver le précipité à l'eau bouillante. On a ainsi l'alumine et l'acide titanique ensemble : après calcination on reprend par l'acide sulfurique ou les bisulfates pour redissoudre le tout et précipiter l'acide titanique par ébullition prolongée dans les conditions ordinaires.

Dosage du titane dans les produits réfractaires. — Pour le dosage de l'acide titanique dans les produits réfractaires, ce qui a beaucoup d'analogie avec le dosage du même élément dans la terre, on retrouve l'acide titanique : 1° en partie avec la silice ; 2° en partie avec le précipité de fer et d'alumine.

On doit donc :

1° Vérifier la pureté de la silice obtenue en la traitant par du

1. *Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie,* n° 7, janvier 1898, p. 718.

fluorure d'ammonium *en présence d'acide sulfurique,* et, s'il y a un résidu, le conserver ;

2° Recueillir le précipité obtenu avec l'ammoniaque qui contient le fer, l'alumine et quelques autres substances ainsi que le titane. Laver et calciner et l'ajouter au résidu laissé par la silice.

Ce mélange est traité par du carbonate de soude et on suit alors le procédé Arnold d'après les indications de M. J. Morgan pour séparer l'acide titanique du fer et autres impuretés (1).

En fondant le tout avec le carbonate de soude, on élimine l'alumine sous forme d'aluminate de sodium, et l'acide titanique reste sous forme de titanate de sodium insoluble. Ce titanate de sodium est accompagné de l'oxyde de fer et le mélange traité par le bisulfate de potasse comme dans toutes les méthodes permet de doser l'acide titanique en présence du fer dans une liqueur contenant de l'acide sulfureux.

Dosage du titane dans le minerai de titane. Analyse du rutile (minerai de titane) [2]. — Le minerai en poudre impalpable est facilement attaqué au creuset de platine par du bisulfate d'ammoniaque ou par un mélange de sulfate d'ammoniaque et d'acide sulfurique. Si la désagrégation a été complète, toute la masse fondue se dissout dans l'eau. Dans le cas où il resterait un résidu, on le soumettrait à une nouvelle fusion, à moins que le résidu ne soit de la silice ou un silicate qui ne peut entrer en dissolution.

La solution aqueuse est portée à l'ébullition et on y ajoute de l'hyposulfite de soude qui précipite l'acide titanique tandis que le fer reste en dissolution. On recueille le précipité qui est séché, calciné et pesé. C'est de l'acide titanique, TiO^2.

Application de l'eau oxygénée au dosage du titane dans quelques composés (méthode Weller). — M. le Dr von Lippmann a bien voulu nous signaler la méthode colorimétrique de Weller pour le dosage du titane dans les résidus du raffinage des salins de sucra-

1. L. Campredon, p. 232.
2. L. Campredon, p. 786.

terie. Voici cette méthode, telle qu'elle a été décrite dans l'ouvrage de Lunge [1] :

« M. A. Weller a étudié, dans le laboratoire de Bunsen, une méthode simple pour la recherche de l'acide titanique par procédé colorimétrique. Elle repose sur la propriété qu'a l'eau oxygénée de colorer les solutions d'acide titanique en jaune orangé, solutions contenant un dixième de milligramme par centimètre cube et très sensible encore lorsque la dose est d'un cinquantième de milligramme. L'acide vanadique et l'acide molybdique donnant la même réaction sont à rechercher.

« On opère dans les meilleures conditions en comparant avec des solutions contenant pour 100 centimètres cubes 5 à 10 milligrammes, et pour 1 centimètre cube $0^{mgr},1$ à $0^{mgr},05$ d'acide titanique. De petites quantités de fer ne gênent pas, de même que l'acide sulfurique quand il n'y en a pas plus de 10 °/₀. Autrement la coloration de la solution normale disparaît avec le temps. »

Pour l'application de la méthode, Lunge dit qu'il faut :

1° Préparer la solution de telle sorte qu'elle ne renferme pas plus de 1 milligramme d'acide titanique par centimètre cube ;

2° On additionne une quantité mesurée de cette solution de son volume d'eau oxygénée. On a une coloration jaune orange plus ou moins intense. En préparant une solution type d'acide titanique sur la base de 1 milligramme par centimètre cube on a le moyen de doser rapidement de petites quantités d'acide titanique par la méthode colorimétrique.

C'est ce que nos nouveaux essais ont pleinement confirmé, comme on le verra.

Séparation du titane d'avec le fer par l'eau oxygénée, d'après M. P. H. Walker [2]. — La solution légèrement acide et froide du mélange des sulfates occupant un volume d'environ 150 centimètres cubes est mélangée avec 100 centimètres cubes d'eau oxygénée à dix volumes. On verse très lentement dans ce mélange une solution com-

1. *Chemisch-technische Untersuchungs-Methoden*, Berlin, t. I, p. 510, et t. II, p. 56.
2. *Annales de chimie analytique*, 1900, p. 25.



posée de : eau oxygénée, 100 centimètres cubes; ammoniaque concentrée, 30 centimètres cubes; on agite continuellement. L'oxyde ferrique se précipite, on le filtre et on le lave avec une solution diluée d'ammoniaque contenant une petite quantité d'eau oxygénée. Le précipité est redissous sur le filtre par un mélange d'acide chlorhydrique pur et d'eau oxygénée. La solution obtenue est reprécipitée comme précédemment. On recommencera une troisième fois la même opération; après quoi l'hydrate ferrique peut être dissous et le fer déterminé par la méthode habituelle. Les filtrats contiennent tout le titane, on les fait bouillir et l'hydrate d'oxyde de titane $Ti(OH)^4$ qui se précipite est filtré et lavé avec une solution chaude de nitrate d'ammoniaque séché, calciné et pesé à l'état de TiO^2.

Un mélange contenant de l'acide titanique fondu avec du bisulfate de potasse et additionné d'alun de fer ammoniacal a donné les résultats suivants par la méthode précédente :

Acide titanique :	après première séparation	$0^{gr},0872$
—	après deuxième séparation.	0 ,0104
—	après troisième séparation.	0 ,0041
	TiO^2 total trouvé.	$0^{gr},1017$
	TiO^2 employé	0 ,1016

Détermination volumétrique du fer et de l'acide titanique au moyen du permanganate de potasse (1). — MM. H. L. Wells et W. L. Mitchell ont indiqué une méthode de dosage du fer et de l'acide titanique au moyen du permanganate de potasse.

On procède ainsi :

1° La solution sulfurique est évaporée jusqu'à apparition des fumées blanches et on étend la liqueur à 1 litre.

2° Sur un volume connu, on réduit le fer au minimum par l'hydrogène sulfuré, on chasse le gaz en excès par l'ébullition et on dose le fer par le permanganate.

3° Une autre partie de la liqueur est additionnée d'acide sulfurique (25 centimètres cubes) plus du zinc pur en morceaux. On chauffe trois quarts d'heure. Le fer et l'acide titanique sont réduits. On laisse

1. *Revue de chimie analytique*, 1897, p. 6.

refroidir dans un courant d'acide carbonique. On titre le fer et le titane par le permanganate.

La différence entre les deux titres correspond à l'acide titanique.

Séparation des acides titanique et molybdique (1). — MM. Ruegenberg et E. Smith ont indiqué une méthode de séparation de ces deux acides basée sur ce que c'est l'*acide sulfurique ayant une densité de 1,378* qui convient le mieux pour dissoudre tout l'acide titanique sans toucher à l'acide molybdique.

Pour 1 gramme de matière on doit employer 25 centimètres cubes d'acide sulfurique et traiter à chaud durant deux minutes.

Séparation du tungstène de l'acide titanique, d'après M. Defacqz (2). — On traite la matière par huit fois son poids d'un mélange de huit parties d'azotate de potasse pur et de deux parties de carbonate de potasse pur. Chauffer au rouge sombre en creuset de platine durant vingt à trente minutes. La masse est reprise par l'eau, on lave par décantation et on termine les lavages par une solution étendue d'azotate d'ammoniaque pour avoir les liquides clairs. Le résidu resté sur le filtre est calciné. Il contient tout l'*acide titanique* qu'on traite ensuite par les méthodes connues pour le doser.

II. — ESSAIS NOUVEAUX SUR LE DOSAGE DE L'ACIDE TITANIQUE

(De MM. H. Pellet et Ch. Fribourg)

Au point de vue des nouveaux essais de dosage que nous avons effectués, nous parlerons d'abord de vérification de la séparation de la silice et de l'acide titanique par l'acide fluorhydrique, puis des méthodes de dosage proprement dites que nous diviserons en :

1° Méthodes colorimétriques ;

2° Méthodes pondérales.

---

1. *Annales de chimie analytique,* 1901, p. 185.

2. Defacqz, *Comptes rendus,* novembre 1896, p. 823 ; *Annales de chimie analytique,* 1897, p. 10.

Expériences sur la séparation de l'acide titanique et de la silice, par MM. H. Pellet et Ch. Fribourg. — A propos de la séparation de la silice et de l'acide titanique nous avons fait de nouveaux essais. Voici ce que nous avons trouvé :

Disons d'abord que nous avons employé dans nos essais un acide titanique qui contenait 21, 21 °/₀ d'eau et 78, 79 °/₀ d'acide titanique TiO^2.

Premier essai. — On a pris 1 gramme d'acide titanique qu'on a traité par 10 centimètres cubes d'acide fluorhydrique. Attaque assez vive et dissolution complète. Mis à digérer et à évaporer à une douce chaleur. On a eu un résidu sec cristallin, puis, en chauffant un peu plus fort, dégagement de fumées blanches (acide fluorhydrique et fluorure de titane). Enfin transformation en acide titanique.

Nous avons eu une perte de poids de $0^{gr},385$, ce qui est beaucoup plus que les 21, 21 °/₀ d'eau contenue.

Deuxième essai. — On a calculé que le fluorure correspondant à 0,7879 de TiO^2 réel ($TiFl^4$) représente $1^{gr},203$ de fluorure. On a refait un essai en évaporant doucement à sec, mais sans avoir les fumées blanches.

On a pesé $1^{gr},262$ de fluorure (ce qui correspond bien à la théorie).

Troisième essai. — On a mis $0^{gr},997$ d'acide titanique brut, plus 5 centimètres cubes d'acide fluorhydrique, plus 5 centimètres cubes d'eau. Dissolution rapide. Ajouté trente gouttes d'acide sulfurique concentré. On a évaporé et on a obtenu un produit cristallin blanc nacré. En chauffant au rouge jusqu'à poids constant, on a trouvé qu'il restait 79 °/₀ du poids primitif en acide titanique pur, ce qui est sensiblement le chiffre calculé d'après le premier essai direct.

Ce résidu se dissout facilement dans l'acide sulfurique concentré chaud. Si l'acide n'est pas assez concentré, il faut chauffer pour concentrer, et on arrive ainsi à la dissolution complète.

En résumé, ces essais confirment ce qui est dit dans les traités d'analyse et aussi dans Wurtz (1) que par simple évaporation avec de

1. T. V, p. 418, 426.



l'acide fluorhydrique il y a perte d'acide titanique; mais d'après nos essais cette perte n'a lieu qu'à la décomposition du fluorure. L'addition d'acide sulfurique, au contraire, empêche toute perte d'acide titanique. C'est également ce qu'ont signalé divers auteurs.

Pour des essais avec mélange de silice et acide titanique, nous avons employé une silice contenant :

Perte au feu.	0,55 %
Résidu après attaque à l'acide fluorhydrique . . .	3,80

Mélangé 1 gramme de silice plus 1 gramme d'acide titanique plus 5 à 8 centimètres cubes d'acide fluorhydrique. Il y a eu un dégagement de chaleur, puis dissolution complète. On a ajouté ensuite trente-cinq gouttes d'acide sulfurique concentré.

Évaporation, calcination.

Il est resté $0^{gr},800$ de résidu (acide titanique + impuretés de la silice) au lieu de $0^{gr},820$ qu'on aurait dû trouver, mais cette différence est très faible.

MÉTHODES DE DOSAGE PROPREMENT DITES

Méthodes colorimétriques

Généralités. — L'acide titanique en solution sulfurique, ainsi que nous l'avons déjà dit au commencement de ce mémoire, donne deux réactions colorées très caractéristiques :

1° Avec l'eau oxygénée;

2° Avec le zinc métallique,

la première étant de beaucoup plus intense que la seconde.

Nous avons donc pensé à établir une méthode colorimétrique basée sur la réaction à l'eau oxygénée, et pour pouvoir comparer les colorations obtenues, nous nous sommes servis du colorimètre Josse [1], construit en vue de la comparaison des différents produits que l'on rencontre en sucrerie, et basé sur une unité colorante dénommée la colorie.

1. Le colorimètre Josse est construit par la maison Jobin, rue de l'Odéon, à Paris.

Il se trouve également que la réaction fournie par l'eau oxygénée, agissant sur les solutions d'acide titanique, donne une coloration que l'on peut parfaitement déterminer au colorimètre Josse, vu l'analogie des teintes.

Notre méthode colorimétrique pour le dosage du titane est donc analogue à celle de Weller; mais nous avons étudié en même temps la meilleure marche à suivre pour obtenir le titane en solution convenable, puis les meilleures conditions à remplir pour avoir une coloration toujours proportionnelle à la dose de titane, et enfin nous avons indiqué l'emploi d'un colorimètre spécial qui permet d'exprimer les colorations en unités de couleur, c'est-à-dire en colories.

Préparation de solutions d'acide titanique pur. — Comme nous l'avons dit plus haut, la réaction se fait généralement avec une solution sulfurique d'acide titanique; mais, comme on le verra par la suite, on peut avoir également une solution d'acide titanique dans le bisulfate de potassium.

Nous avons donc préparé des solutions sulfuriques et également des solutions bisulfatées, et nous avons déterminé les quantités d'acide ou de bisulfate nécessaires pour obtenir des solutions qui, étendues, ne laissent pas reprécipiter d'acide titanique.

Pour la solution sulfurique nous avons pris 6gr,250 d'acide titanique à 80 °/₀, c'est-à-dire 5 grammes de TiO^2 pur que nous avons additionné de 50 centimètres cubes d'acide sulfurique pur à 66° et chauffé le tout dans une capsule de porcelaine à dissolution parfaite. Après refroidissement, verser doucement le mélange sulfurique dans une fiole de 500 centimètres cubes contenant de l'eau distillée et compléter.

Cette solution contient donc environ 200 grammes d'acide sulfurique pour 10 grammes de TiO^2 ou 2 grammes pour 0gr,100 de TiO^2.

Cette solution étendue au dixième par addition d'eau donne donc une solution à 1 gramme pour cent de TiO^2 qui reste parfaitement claire.

Pour la solution bisulfatée nous avons opéré comme suit pour faire une solution à 1 gramme par litre. (Pour faire une solution à

10 grammes par litre, il faudrait une quantité beaucoup trop forte de bisulfate de potasse.)

Prendre $0^{gr},500$ TiO^2 réel et le fondre avec 25 grammes de bisulfate de potasse (que l'on prépare soi-même comme nous dirons plus loin) sans trop chauffer pour ne pas décomposer le bisulfate.

Reprendre après refroidissement par 150 centimètres cubes d'eau distillée chaude (40 à 50° au maximum) dans un verre de Bohême. La dissolution se fait en une demi-heure. Après refroidissement, compléter à 500 centimètres cubes.

Il faut surtout avoir soin de ne pas dépasser la température de 60° quand on fait la dissolution, autrement l'acide titanique commence à précipiter.

Préparation du bisulfate de potasse pur. — Nous avons remarqué que le bisulfate que l'on trouve dans le commerce, même vendu comme pur, ne répond pas toujours à la formule théorique et que souvent il contient trop peu d'acide libre. C'est-à-dire que c'est un mélange de sulfate neutre et de bisulfate.

Comme point de départ nous choisissons le carbonate de potasse que l'on se procure aujourd'hui à un parfait état de pureté et de siccité.

Voici les formules de préparation :

$$CO^3K^2 + 2SO^4H^2 = 2SO^4KH + CO^2 + H^2O$$

138	2×98	272

ou en doublant

276	2 fois 196	544

Faire un essai préliminaire du carbonate de potasse au point de vue de l'eau qu'il peut contenir (en en fondant 1 gramme environ au creuset de platine). On trouve 5 à 6 % de perte. Prendre 290 à 295 grammes de ce carbonate de potasse et les mettre dans une capsule de 1 500 centimètres cubes avec 300 centimètres cubes d'eau.

Diluer d'autre part 200 grammes d'acide pur à 66° avec 300 centimètres cubes d'eau et les verser lentement dans la solution de

carbonate en agitant, et de façon à être neutre au papier de tournesol, après quelques minutes d'ébullition et une bonne agitation.

Le sulfate neutre se précipite en grande partie, étant peu soluble. L'eau mère séparée est évaporée à sec, puis on dessèche le tout complètement par calcination dans du platine.

On obtient ainsi environ 345 à 350 grammes de sulfate de potasse neutre et sec. (On peut également se procurer du sulfate de potasse neutre et pur.)

Il faut, pour le transformer en bisulfate, lui ajouter 200 grammes d'acide pur à 66°.

On met dans une capsule de platine 70 grammes du sulfate neutre, puis 40 grammes d'acide à 66° et on chauffe doucement jusqu'à avoir un liquide blanc et commençant à dégager un peu de vapeurs sulfuriques. Laisser refroidir, pulvériser et flaconner.

Essais en vue de voir la quantité d'eau oxygénée nécessaire pour une quantité déterminée de TiO^2. — L'eau oxygénée dont nous nous sommes servis dans tous nos essais est l'eau oxygénée à douze volumes.

Nous avons pris 10 centimètres cubes d'une solution sulfurique de TiO^2 à un millième, c'est-à-dire contenant donc $0^{gr},010$ de TiO^2, et nous avons ajouté goutte à goutte de l'eau oxygénée jusqu'à arriver au maximum de coloration. Il en a fallu 2 centimètres cubes, c'est-à-dire que 5 centimètres cubes d'eau oxygénée sont suffisants pour oxyder $0^{gr},025$ de TiO^2.

Pratique de la méthode colorimétrique. — Nous prenons en général 10 centimètres cubes de la solution titanique (ces 10 centimètres cubes devant renfermer 1 centimètre cube d'acide sulfurique pur) et 5 centimètres cubes d'eau oxygénée.

La coloration ainsi obtenue est d'environ 600 à 700 colories pour les solutions à 1 gramme de TiO^2 par litre et 60 à 70 colories pour les solutions à $0^{gr},100$ de TiO^2 par litre.

Pour lire au colorimètre Josse dans les meilleures conditions, il est intéressant d'avoir des colorations inférieures à 40 colories.

Donc, avec une solution contenant environ 1 gramme de TiO^2 par litre, on prendra pour faire la réaction :

Solution titanique	1 centimètre cube
Acide sulfurique pur	1 —
Eau distillée	8 —
Total	10 centimètres cubes
Eau oxygénée	5 —

et on doublera par addition de 15 centimètres cubes d'eau distillée, pour avoir environ 30 à 35 colories.

Pour une solution contenant $0^{gr},100$ de TiO^2, on prendra 10 centimètres cubes avec 5 centimètres cubes de H^2O^2 et on doublera le volume avec de l'eau.

Pour une solution contenant $0^{gr},050$ de TiO^2 on prendra 10 centimètres cubes avec 5 centimètres cubes de H^2O^2 et on pourra examiner directement au colorimètre.

Essai de la méthode colorimétrique en présence d'autres bases. — Dans notre étude nous avions en vue la recherche de l'acide titanique dans lès sols et cendres de végétaux. Nous avons donc voulu voir ce que donneraient avec l'eau oxygénée les autres bases contenues dans ces produits et pouvant peut-être influer sur la coloration.

Nos essais ont porté sur l'oxyde de fer et l'alumine, et nous avons ainsi pu prouver que ces bases n'influent en rien dans la méthode à l'eau oxygénée, à condition toutefois d'être en solution sulfurique.

Nous avons préparé les solutions suivantes :

a) Solution ferrique. — $0^{gr},100$ de Fe^2O^3 pur fondu avec 5 grammes de bisulfate de potasse. Repris par 5 centimètres cubes de SO^4H^2 pur, fait 100 centimètres cubes.

b) Solution d'alumine. — $0^{gr},500$ de sulfate d'alumine (représentant donc environ $0^{gr},100$ d'alumine) fondu avec 5 grammes de bisulfate de potasse. Repris par 5 centimètres cubes de SO^4H^2 pur, fait 100 centimètres cubes.

En prenant 10 centimètres cubes de ces solutions avec 5 centimètres cubes d'eau oxygénée, on n'obtient aucune coloration.

D'autre part, en additionnant à une solution d'acide titanique un peu de ces solutions soit fer, soit alumine, on trouve finalement la coloration due exclusivement à l'acide titanique comme s'il était seul.

En résumé, la méthode colorimétrique à l'H^2O^2 est une méthode qui permettra donc, dans le cas général des sols et des cendres de végétaux, de doser directement le TiO^2, puisque les corps autres que le TiO^2 qui y sont contenus n'influent pas sur l'eau oxygénée.

Essais sur la réaction colorée fournie par réduction avec le zinc. — Comme nous l'avons déjà dit, il n'y a que les solutions d'une certaine concentration qui donnent la réaction violette par réduction avec le zinc.

Les solutions à 20 grammes, 10 grammes et même 5 grammes de TiO^2 par litre donnent une coloration excessivement nette et belle. Une solution à 1 gramme par litre donne, au bout d'un certain temps de réduction, une coloration violet faible, il est vrai, mais très caractéristique, que l'on soit en solution sulfurique ou bisulfatée.

Nous avons vérifié ainsi que les meilleures conditions pour percevoir d'une façon indiscutable la coloration violette étaient d'opérer sur une solution contenant 5 grammes de TiO^2 par litre, c'est-à-dire $0^{gr},050$ dans 10 centimètres cubes.

D'autre part, l'addition de sels de fer, d'alumine ne modifie en rien la coloration obtenue.

En résumé, prendre donc 10 centimètres cubes de solution avec 2 centimètres cubes environ de SO^4H^2 pur y contenu ; ajouter quelques morceaux de zinc pur en grenaille. Si celui-ci ne s'attaque pas, favoriser par quelques gouttes d'une solution faible de sulfate de fer.

La coloration, d'abord d'un violet sale, devient, au bout d'une heure ou deux, d'un violet très franc et très caractéristique.

Méthodes pondérales

Nous avons étudié plusieurs des méthodes actuellement décrites pour la précipitation de l'acide titanique. Il y a lieu de dire qu'en général nous avons eu de bons résultats lorsqu'il s'agissait de solutions titaniques pures, mais aussitôt que l'on se trouve en présence d'autres corps tels que oxyde de fer, et surtout alumine et acide phosphorique, ce qui nous intéressait notamment pour la recherche de l'acide titanique dans les sols et cendres de végétaux, ce n'est plus la même chose. Le fer en général ne gêne pas, mais l'alumine et l'acide phosphorique sont généralement entraînés dans certaines méthodes. Enfin l'acide phosphorique l'est toujours en certaine proportion, et comme on le verra dans un chapitre suivant, nous avons été obligés de passer par un détour pour arriver, dans certains cas, à isoler l'acide titanique de l'acide phosphorique.

Donc, disons de suite qu'il y a lieu de préconiser avant tout les méthodes où l'acide titanique est précipité à l'état d'acide métatitanique, précipité grenu et facile à laver, et de rejeter celles où il est à l'état d'hydrate titanique ressemblant à de l'alumine gélatineuse, donc difficile à laver.

Nous avons porté notre choix sur la précipitation directe des solutions bisulfatées par simple ébullition, et notre but a été de voir quelles étaient les conditions d'acidité et de concentration nécessaires pour une précipitation complète.

En général nous avons opéré sur un volume de solution de 250 centimètres cubes renfermant soit 0gr,100, 0gr,050, 0gr,020 ou 0gr,010 d'acide titanique pur en présence de quantités différentes de bisulfate de potasse, et nous avons cherché ainsi la quantité maximum d'acide libre ou de bisulfate libre à avoir pour obtenir la précipitation complète dans un temps d'ébullition moindre que celui de six heures indiqué par certains auteurs, et en particulier par M. L. Lévy dans sa thèse de 1891. Nous avons ainsi constaté qu'au bout d'une heure d'ébullition et avec une faible acidité l'acide titanique (en quantités maximum de 0gr,100) était entièrement précipité; mais comme, dans certains cas, vu les principes étrangers contenus en

dehors du titane, une faible acidité donnerait des précipités de TiO^2 chargés d'autres corps, nous nous sommes fixé une durée d'ébullition de deux heures.

Donc, dans tous nos essais nous sommes partis d'une solution bisulfatée d'acide titanique contenant, pour 100 centimètres cubes, $0^{gr},100$ de TiO^2 et 5 grammes de bisulfate de potassium.

Nous avons d'autre part préparé une solution de bisulfate de potasse à 25 °/₀ (1 gramme dans 4 centimètres cubes de solution) en vue d'en rajouter aux solutions titaniques.

Voici maintenant les facteurs calculés pour passer du bisulfate à l'acide libre y contenu et inversement :

Bisulfate de potassium $\times$ 0,36 = SO^4H^2 libre.
Acide sulfurique libre $\times$ 2,78 = Bisulfate de potasse.

Première série d'essais. — Pris 150 centimètres cubes de la solution titanique ; étendu à 250 centimètres cubes avec de l'eau dans un verre de Bohême de 350 centimètres cubes.

On a donc $0^{gr},100$ de TiO^2 et 5 grammes de bisulfate (ou 20 grammes par litre) dans 250 centimètres cubes, c'est-à-dire $7^{gr},200$ d'acide libre.

Dans un autre verre, pris seulement 50 centimètres cubes de solution titanique ; étendu à 250 centimètres cubes. On a donc $0^{gr},050$ de TiO^2 dans les 250 centimètres cubes avec 10 grammes de bisulfate par litre ou $3^{gr},600$ d'acide libre.

On fait bouillir pendant deux heures en ajoutant de temps à autre de l'eau bouillante pour maintenir le volume de 250 centimètres cubes, puis on filtre bouillant. Si le liquide passe un peu trouble, on le repasse une deuxième fois, et il filtre clair. On lave avec 250 centimètres cubes environ *d'eau bouillante,* ce qui suffit pour que l'eau de lavage ne donne plus rien au chlorure de baryum. Calciner et peser.

On a retrouvé ainsi $0^{gr},098$ et $0^{gr},049$ d'acide titanique.

Dans les autres séries d'essais nous avons voulu avoir 5 grammes, 10 grammes et 15 grammes d'acide libre par litre, correspondant donc à 14, 28 et 42 grammes de bisulfate, et avec des quantités d'acide titanique de $0^{gr},100$, $0^{gr},050$, $0^{gr},020$ et $0^{gr},010$ dans un volume toujours de 250 centimètres cubes.

Voici le dispositif des essais :

SOLUTION de TiO^2 prélevé		BISULFATE déjà contenu	SOLUTION de bisulfate à 25 % à rajouter	
cent. cub.	gr.	gr.	gr.	cent. cub.
Deuxième série : 5 grammes de SO^4H^2 par litre ou 14 grammes de bisulfate :				
100 =	0,100	5,000	Rien	
50 =	0,050	2,500	1,0 =	4
20 =	0,020	1.000	2,5 =	10
10 =	0,010	0,500	3,0 =	12
Troisième série : 10 grammes de SO^4H^2 par litre ou 28 grammes de bisulfate :				
100 =	0,100	5,000	2,0 =	8
50 =	0,050	2,500	4,5 =	18
20 =	0,020	1,000	6,0 =	24
10 =	0,010	0,500	6,5 =	26
Quatrième série : 15 grammes de SO^4H^2 par litre ou 42 grammes de bisulfate :				
100 =	0,100	5,000	5.5 =	22
50 =	2,050	2,500	8,0 =	32
20 =	0,020	1,000	9,5 =	38
10 =	0,010	0,500	10,0 =	40

Tous ces essais ont été faits dans les mêmes conditions que ceux de la première série, c'est-à-dire : volume total amené à 250 centimètres cubes par addition d'eau distillée ; durée d'ébullition, deux heures en maintenant le volume à 250 centimètres cubes par addition d'eau distillée bouillante ; filtration et lavage du précipité à l'eau bouillante ; calcination et pesée de l'acide titanique.

Voici les résultats obtenus :

VOLUME de liquide sur lequel on a opéré	BISULFATE de potasse par litre	CORRESPONDANT à SO^4H^2 libre par litre	ACIDE TITANIQUE dans les 250 centimètres cubes			
			0gr,100	0gr,050	0gr,020	0gr,010
cent. cubes	gr.	gr.	Retrouvé par dosage			
250	10	3,600	»	0,049	»	»
250	14	5	0,098	0,049	0,020	0,010
250	20	7,200	0,098	»	»	»
250	28	10	0,098	0,049	0,019	0,009
250	42	15	0,095	0,0465	0,0135	0,0065

En résumé, on voit, d'après ces essais, que pour précipiter sur un

volume de 250 centimètres cubes de l'acide titanique en solution bisulfatée, et en quantités inférieures ou égales à $0^{gr},100$ on devra avoir, dans les 250 centimètres cubes, 5 grammes de bisulfate de potasse non neutralisé, c'est-à-dire correspondant à $7^{gr},200$ d'acide libre par litre, et maintenir l'ébullition pendant deux heures.

Nous avons d'autre part préparé une solution de potasse caustique pure telle que 10 centimètres cubes neutralisent 5 grammes de bisulfate de K préparé ainsi que nous l'avons décrit.

Pour faire une telle solution, il faut employer théoriquement $205^{gr},700$ de KOH par litre.

En pratique, vu la petite quantité d'eau contenue dans la potasse, on prendra 230 grammes environ.

Nous avons fait également des essais de précipitation de solutions titaniques contenant pour 250 centimètres cubes les quantités de $0^{gr},100$, $0^{gr},050$, $0^{gr},020$ et $0^{gr},010$ de TiO^2, et également 5 grammes de bisulfate de potasse ; mais nous avons rajouté en plus du sulfate neutre de potasse en quantités de 5 à 20 grammes au maximum. Nous avons retrouvé des résultats identiques à ceux ci-dessus.

Cela a une importance, comme on le verra plus loin à propos du dosage de l'acide titanique dans les sols ou les cendres où, pour avoir une certaine quantité de TiO^2 dans un volume de 250 centimètres cubes, on est obligé d'attaquer une certaine dose de matière par 15 ou 20 grammes de bisulfate, et alors, pour n'avoir plus que 5 grammes de bisulfate libre, on est dans la nécessité de neutraliser la solution, c'est-à-dire qu'on forme du sulfate neutre en dehors des sulfates formés déjà par l'attaque.

Il était donc intéressant de voir si une certaine proportion de sels et en particulier de sulfate neutre de potasse influerait sur la méthode de dosage ; et, comme on le voit, avec des quantités assez fortes il n'y a pas d'influence.

Pour nous résumer, nous avons donc établi pour les solutions d'acide titanique pur :

1° Une méthode colorimétrique au moyen de la réaction à l'eau oxygénée, méthode de dosage, et également une méthode plutôt qualitative par coloration due à la réduction des solutions titaniques par le zinc.

2° Une méthode pondérale assez rapide, par précipitation des solutions bisulfatées en deux heures d'ébullition, et avec une acidité sulfurique déterminée correspondant et due à 5 grammes de bisulfate de potasse libre, se trouvant dans 250 centimètres cubes de solution, quantité sur laquelle on opère.

TROISIÈME PARTIE

SUR LA PRÉSENCE ET LE DOSAGE DU TITANE DANS LES SOLS ET LES VÉGÉTAUX, NOTAMMENT DANS LA BETTERAVE ET LA CANNE À SUCRE

Présence du titane dans le sol. Résultats divers. — M. F. P. Dumington a démontré que le titane existait en quantités assez sensibles dans toutes les terres végétales. MM. Geschwind et Sellier pensent donc que d'après cela il ne serait pas étonnant de rencontrer le titane dans les végétaux comme élément régulier (1).

M. Maxwell a étudié aussi le sol hawaïen et il a constaté que le terrain sur lequel il avait disposé ses expériences contenait une quantité très notable d'acide titanique. Pour 100 grammes de terre sèche, ce chimiste a obtenu 2gr,54 d'acide titanique à côté de 36 grammes de silice totale (soluble et insoluble).

De notre côté, nous dirons de suite que nous avons trouvé l'acide titanique dans le sol égyptien dans une proportion d'environ 2 °/₀₀, et également dans des terres françaises pour la culture de la betterave, dans une proportion d'environ 0,50 °/₀₀.

Présence de l'acide titanique dans la betterave. — MM. Geschwind et Sellier, dans leur ouvrage intitulé : *La Betterave agricole et industrielle*, 1903, ont rappelé que M. le Dr von Lippmann avait

1. *Chemical News*, 76, 221 ; Geschwind et Sellier, *La Betterave agricole et industrielle*.

constaté que les résidus de raffinage de salins de sucraterie renfermaient environ 0,12 °/₀ de titane [1].

Sur la présence du titane dans la canne à sucre (travaux de M. W. MAXWELL). — En 1899, M. Walter Maxwell, directeur de la station agronomique des planteurs hawaïens, publia un travail très intéressant sur la composition de deux variétés de cannes à sucre et dont le compte rendu se trouve dans le *Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie de France et des colonies*, nᵒˢ 5 et 6 de 1900-1901, p. 328.

M. W. Maxwell avait entrepris des expériences pour connaître les besoins de la canne à sucre au point de vue de l'azote et des substances minérales diverses.

Dans ce but il a analysé les cendres de cannes et de feuilles, et a analysé également la matière sèche. Il donne tous les détails relatifs aux essais. Ce qui nous a particulièrement intéressé, c'est la quantité de *titane* qui a été trouvée dans les cendres de deux variétés de cannes, et aussi bien dans les feuilles que dans les tiges. Nous extrayons du mémoire de M. Maxwell les chiffres ci-après :

Sur 100 grammes de cendres :

	TIGES DE CANNES		FEUILLES DE CANNES	
	Bambou rose	Lahania	Bambou rose	Lahania
	—	—	—	—
Acide titanique . . .	1,11	1,63	1,12	1,38

C'est, on le voit, une proportion notable de titane que jusqu'ici on n'avait pas encore signalée.

Seulement, disons de suite que ces quantités de titane sont trop fortes, en raison d'une circonstance que M. Walter Maxwell a signalée dans son travail de 1900. Par suite d'un malentendu, les cendres analysées avaient été lessivées en partie, ce qui explique les quantités considérables de silice trouvée et la faible teneur en alcalis.

Par conséquent, l'acide titanique, par ce fait même, a subi une augmentation qu'il est difficile d'évaluer, mais qui a pu être très sensible.

1. *Deutsche Zuckerindustrie*, 1893, n° 3.

D'après nous, l'acide titanique réel n'aurait pas dépassé 0,60 à 0,80 °/₀ de cendres de feuilles ou de cannes.

Disons de suite que dans toutes ces cendres il y a eu une certaine quantité de terre qui a faussé les résultats généraux de leur composition et surtout en ce qui concerne la proportion de titane, d'alumine et de silice.

Dans les expériences de M. Maxwell de 1900, on ne trouve plus les indications de dosage du titane dans les cendres des cannes à sucre, qui n'a pas été exécuté, mais seulement dans les cendres de feuilles, de têtes de cannes et de feuilles mortes.

M. Maxwell a dosé le titane dans la liqueur après séparation de la silice, et il a analysé à part la silice. Il a trouvé :

Variété des cannes	Acide titanique pour 100 grammes des matières minérales solubles	du résidu insoluble
—	—	—
Lahania	0,71	0,69
Bambou rose	0,60	0,30
Yellow Caledonia	0,43	0,45
Yellow bambou	0,58	0,41
Moors People	0,47	0,31
Demarara 117	0,23	0.33
— 95	0,30	0,44
— 124	0,38	0,31
Tibboo Mird (Louisiana)	0,54	0,48
Striped (Louisiana)	0,31	0,68
Purple (Louisiana)	0,38	0,59
Striped (Singapore)	0,52	0,23
Big-Ribbon	0,26	0,57

Dosage pondéral de l'acide titanique dans les terres, d'après W. Maxwell. — Voici la description de la méthode suivie par M. W. Maxwell pour doser l'acide titanique dans les terres :

Sur une partie de la solution correspondant à 1 gramme de matière (et renfermant l'acide titanique, le fer, etc.) on neutralise l'acidité au moyen du carbonate de soude, puis on rend le liquide très légèrement acide par l'acide sulfurique. On réduit le fer par addition d'acide sulfureux. On dilue à 800 centimètres cubes avec de l'eau distillée et on fait bouillir deux heures en maintenant le volume

de 800 centimètres cubes, en ajoutant de temps en temps de l'acide sulfureux pour assurer la réduction des sels de fer.

L'acide titanique se précipite. On filtre, on lave à l'eau chaude, on sèche, on calcine et on pèse l'acide titanique.

Remarques et essais de H. Pellet et Ch. Fribourg. — Comme suite à toutes les publications et aux résultats que nous venons de résumer précédemment, il ressortait donc que :

1° Le titane se rencontrait ou pouvait se rencontrer dans les sols où l'on cultive la canne à sucre et la betterave à sucre ;

2° D'après certains auteurs, on pourrait également trouver du titane dans la betterave et la canne à sucre.

Nous avons donc tenu à faire une étude sérieuse sur ce sujet, c'est-à-dire à suivre le titane dans les sols, les végétaux (canne et betterave) et même dans les différents produits de fabrication de sucrerie et de raffinerie.

Nous avons divisé notre travail en deux parties :

1° Recherche et dosage de l'acide titanique dans les sols :

a) Méthodes colorimétriques ;

b) Méthodes pondérales.

2° Recherche et dosage de l'acide titanique dans les cendres de végétaux et produits de fabrication :

a) Méthodes colorimétriques ;

b) Méthodes pondérales.

RECHERCHE ET DOSAGE DU TITANE DANS LES SOLS

(H. Pellet et Ch. Fribourg)

Généralités. — Nous avons commencé nos essais sur les sols qui contiennent une assez forte proportion de titane.

Comme dans toutes les recherches que nous faisons en vue de l'adoption d'une méthode analytique, pour nous assurer de la valeur et de l'exactitude de ladite méthode, nous composons un mélange synthétique ayant environ la constitution du produit sur lequel doit se faire l'analyse.

Ainsi, pour les sols nous avons pris comme point de départ la

composition moyenne du sol égyptien d'après un grand nombre d'analyses effectuées par l'un de nous (1).

Silice	54,60
Alumine	19,70
Peroxyde de fer	9,20
Carbonate de chaux	5,70
Carbonate de magnésie	4,10
Potasse	0,27
Ammoniaque	»
Acide phosphorique	0,18
Acide sulfurique	0,05
Matières organiques	5,90
Non dosé : chlore, soude	0,29
Total	99,99

On voit immédiatement qu'au point de vue de nos recherches on pourra de suite éliminer tous les corps qui se trouvent en petites quantités, et s'en tenir seulement aux principaux, c'est-à-dire silice, alumine, peroxyde de fer, carbonate de chaux et de magnésie, et on arrivera ainsi à la composition suivante :

Silice	60
Alumine	20
Peroxyde de fer	10
Carbonate de chaux	5
Carbonate de magnésie	5
Total	100

Pour tous les essais ultérieurs nous avons donc séparé de chacun de ces produits, et chaque fois que nous fîmes un essai nous pesions à part chacun des produits, dans les proportions ci-dessus.

Par exemple, pour 5 grammes ou 3 grammes de mélange, nous prenions respectivement :

	Pour 5 gr.	Pour 3 gr.
Silice	3,000	1,800
Alumine	1,000	0,600
Peroxyde de fer	0,500	0,300
Carbonate de chaux	0,250	0,150
Carbonate de magnésie	0,250	0,150
Total	5,000	3,000

1. H. Pellet, *Contrôle de la fabrication du sucre de canne*, 1895, p. 355.

Les produits que nous avons employés sont :

1° Silice. Silice pure recalcinée laissant très peu de résidu par l'acide fluorhydrique mais exempte de titane ;

2° Alumine. Nous avons pris du sulfate d'alumine pur ; pour une partie d'alumine à employer, nous prenons cinq fois plus de sulfate d'alumine ;

3° Peroxyde de fer. Nous l'avons obtenu par calcination à l'air d'oxalates de fer pur ;

4° Carbonate de chaux précipité pur desséché à l'étuve ;

5° Carbonate de magnésie pur desséché à l'étuve ;

6° Enfin l'acide titanique que nous avons rajouté en certaines proportions à tous ces produits était de l'acide titanique précipité contenant 20 °/₀ d'eau et 80 °/₀ d'acide titanique réel.

Essais d'une méthode colorimétrique directe. — Suivant tout ce que nous avons exposé à propos de la méthode colorimétrique pour le dosage de l'acide titanique, il nous a été facile de déduire de suite une méthode colorimétrique directe assez rapide, pour le dosage de l'acide titanique dans les sols, en nous basant :

1° Sur le départ facile de la silice par l'acide fluorhydrique ;

2° Sur la facilité de dosage de l'acide titanique par H^2O^2 même en présence de fer, alumine, chaux, magnésie.

Voici donc la description de notre méthode vérifiée avec des mélanges synthétiques et addition d'acide titanique dans des proportions déterminées.

Prendre 0gr,500 de terre desséchée et très finement pulvérisée ; les introduire dans une capsule ronde de platine de 75 millimètres de diamètre contenant au préalable 10 grammes d'acide fluorhydrique pur. Ajouter ensuite 1 centimètre cube d'acide sulfurique pur à 66° Baumé et évaporer rapidement jusqu'à obtenir d'abord le départ de l'acide sulfurique en excès, puis, en chauffant un peu plus, jusqu'à siccité et cessation des vapeurs sulfuriques.

A ce moment, mélanger le résidu qui se détache très bien et qu'on pulvérise à la spatule avec 5 grammes de bisulfate de potasse.

Fondre à basse température jusqu'à avoir le tout bien liquéfié.

Après refroidissement, reprendre par l'eau distillée contenant

15 centimètres cubes d'acide sulfurique pur pour 100 centimètres cubes et en chauffant vers 60° au maximum.

Après dissolution et refroidissement amener à 100 centimètres cubes avec la même eau sulfurique. *Tout doit être dissous.*

Prendre 1 à 10 centimètres cubes de cette solution qu'on complète à 10 centimètres cubes avec de l'eau distillée, ajouter 5 centimètres cubes d'eau oxygénée, et examiner au colorimètre Josse.

Par comparaison avec une solution d'acide titanique à $0^{gr},100$ par litre (et de même acidité sulfurique), on déduit après calculs la quantité d'acide titanique contenue dans la terre.

En opérant de cette façon, nous avons trouvé les résultats suivants sur trois échantillons de terre provenant de différents endroits d'Égypte :

	ACIDE TITANIQUE pour 100 de terre sèche
1° Terre d'Ayat (80 kilomètres du Caire)	1,93
2° Terre de Cheick-Fadl (200 kilomètres du Caire). . . .	2,05
3° Terre de Nag-Hamadi (600 kilomètres du Caire). . . .	2,11

Par la méthode pondérale que nous avons adoptée et que nous décrirons plus loin, nous avons trouvé respectivement : 1,89, 1,97 et 2,04 °/₀.

On voit donc de suite la concordance des deux méthodes, et également ceci : c'est que la terre d'Égypte contient une proportion uniforme d'acide titanique quelle que soit la région où l'on a prélevé l'échantillon.

Nous avons fait un essai sur un échantillon de terre pour culture de la betterave provenant d'Audruicq (Pas-de-Calais) [en France] et nous y avons trouvé, pour 100 de terre sèche, 0,47 d'acide titanique (contre 0,44 trouvé par la méthode pondérale).

Essais de méthodes pondérales

Nous devons dire que nous avons essayé sans grand succès différentes méthodes, les unes un peu compliquées, les autres un peu plus simples, en vue du dosage pondéral de l'acide titanique dans les

terres, et que finalement nous sommes parvenus au moyen d'une méthode assez rapide à obtenir l'acide titanique à l'état pur.

Il y a lieu tout d'abord de faire deux subdivisions dans l'application de la méthode :

1° Terres contenant plus de 1 °/₀ d'acide titanique, ce qui est le cas de la terre d'Égypte ;

2° Terres contenant moins de 1 °/₀ d'acide titanique, ce qui est le cas de la terre du Pas-de-Calais.

1° Terres contenant plus de 1 °/₀ de TiO^2. — Nous donnerons d'abord les détails de la méthode essayée avec un mélange synthétique, préparé comme suit :

	Silice pure	1gr,800
	Alumine.	0 ,600 (1)
	Carbonate de chaux	0 ,150
	Carbonate de magnésie.	0 ,150
	Sesquioxyde de fer	0 ,300
rajouté		
	Acide titanique pur	0 ,060

c'est-à-dire 2 °/₀ du poids du mélange synthétique de terre.

Nous avons préparé trois mélanges semblables, puis pris trois capsules de platine dans lesquelles il a été introduit (dans chaque) 30 grammes d'acide fluorhydrique pur. Puis on a ajouté par petites portions chaque mélange de 3 grammes dans chaque capsule et en plus, après attaque, 3 centimètres cubes d'acide sulfurique pur. Évaporer doucement au bain-marie bouillant ; puis calciner légèrement jusqu'à seulement cessation de dégagement des vapeurs d'acide sulfurique en excès, de façon à ne pas décomposer les sulfates formés. Le résidu qui reste est très friable. On le pulvérise à la spatule et on le mélange dans la capsule même avec 15 grammes de bisulfate de potasse.

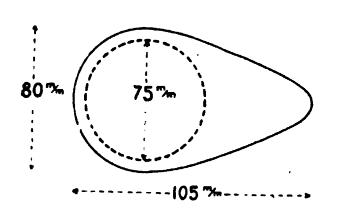
Chauffer ensuite doucement avec un bec de gaz jusqu'à fusion tranquille, puis au chalumeau en maintenant le couvercle de platine à 1 centimètre au-dessus de la capsule et légèrement sur le côté,

1. Pris 3 grammes de sulfate d'alumine.

la flamme du chalumeau presque jaune et rabattue un peu à l'intérieur de la capsule par le couvercle de platine. De cette façon il n'y a pas de mousse, et le bisulfate ne grimpe pas. La masse fondue devient très transparente, sans aucune matière en suspension, et de la couleur rouge des sels ferriques.

Mettre à refroidir sur une plaque de métal; le culot fondu se détache très facilement, le pulvériser très grossièrement dans un mortier en ayant soin de le recouvrir pendant la pulvérisation au moyen d'un linge fin pour éviter les pertes par projections.

Puis introduire la masse pulvérisée dans un verre de Bohême de 350 à 400 centimètres cubes. Laver le mortier avec un peu d'eau et également la capsule et le couvercle de platine.



A ce propos, mentionnons la forme des couvercles spéciaux que nous avons adoptée pour les capsules rondes de platine, forme qui permet un lavage facile du couvercle soit par l'eau, soit par les acides.

S'arranger de façon à avoir dans chaque verre de 200 à 250 centimètres cubes de solution en ajoutant de l'eau distillée, puis chauffer vers 60° au *maximum* en se servant d'un thermomètre comme agitateur pour faciliter la dissolution. Après dissolution complète et refroidissement, compléter à 300 centimètres cubes.

Il est resté très peu d'insoluble. Filtrer chaque solution sur un filtre sans cendres, sec et recevant le liquide dans une fiole sèche.

Une fois tout le liquide passé, retirer les fioles et laver les filtres d'abord à l'eau froide, puis à l'eau bouillante. Il est à remarquer que si on commence le lavage avec de l'eau chaude, les sels ferriques retenus par le papier se décomposent et peuvent augmenter apparemment l'insoluble réel.

Nous avons calciné ces insolubles et pesé. Trouvé $0^{gr},019$, $0^{gr},019$, $0^{gr},018$; puis on les a fondus chacun avec 5 grammes de bisulfate de potasse. Fait une solution aqueuse à 100 centimètres cubes et vérifié à l'eau oxygénée l'absence de titane.

Donc l'insoluble était une petite quantité de silice non volatilisée.

Sur les trois solutions de 300 centimètres cubes, prélevé d'abord

250 centimètres cubes de chaque solution et mis dans des verres de Bohême de 350 à 400 centimètres cubes.

Pour le reste, pris 40 centimètres cubes de chaque que l'on a titrés avec la solution de potasse dont 10 centimètres cubes neutralisent 5 grammes de bisulfate de potasse. On a ainsi trouvé :

I.	2^{cc},5 de KOH
II.	2 ,8 —
III.	2 ,8 —

Rapporté à 250 centimètres cubes, cela ferait :

I.	15^{cc},6
II.	17 ,5
III.	17 ,5

Comme nous voulons, dans nos essais en vue de précipitation de l'acide titanique, n'avoir que 5 grammes de bisulfate non neutralisé dans 250 centimètres cubes, nous devrons donc rajouter respectivement dans nos trois prélèvements de 250 centimètres cubes : 5^{cc},6, 7^{cc},5 et 7^{cc},5 de potasse. Ceci étant fait, nous avons pris l'un des verres et l'avons chauffé jusqu'à l'ébullition. Il y a eu une forte précipitation d'oxydes ou sous-sels de fer.

Donc, dans ces conditions, la méthode ne marcherait pas et nous avons pensé à utiliser l'acide sulfurique pour empêcher cette précipitation.

Dans les deux autres verres nous avons ajouté 50 centimètres cubes d'une solution aqueuse, *fraîchement préparée,* d'acide sulfureux (à 1 020-1 025 de densité). Puis porté à l'ébullition, en la maintenant deux heures. (On rajoute pendant le cours de l'ébullition deux fois 40 à 50 centimètres cubes de solution sulfureuse, de façon à maintenir les sels de fer à l'état minimum.)

Filtré et lavé comme il a été dit pour les solutions d'acide titanique pur ; calciné ; trouvé 0^{gr},055 et 0^{gr},056.

Or les 250 centimètres cubes de solution renferment 0^{gr},050 de TiO^2 pur. Donc, par la première précipitation, on arrive déjà à un résultat très voisin de la réalité. Il est très probable que les précipités retiennent mécaniquement un peu des substances primitives et notamment du fer.

Nous avons refondu chaque précipité avec 5 grammes de bisulfate de potasse, redissous pour faire 250 centimètres cubes de solution. La dissolution est très limpide. On a fait la précipitation de l'acide titanique à l'ébullition et en présence d'acide sulfureux comme il a été dit précédemment.

Les précipités calcinés ont donné 0gr,050 et 0gr,050.

Il y avait lieu de supposer, vu le poids et l'aspect très blanc du précipité, que nous étions donc arrivés à extraire l'acide titanique total. Mais pour vérifier sa pureté, nous l'avons refondu au bisulfate, fait 100 centimètres cubes et titré à l'eau oxygénée. Nous avons eu ainsi 0gr,049 et 0gr,049 d'acide titanique.

En résumé, on peut donc dire qu'avec deux précipitations successives on arrive à retrouver le poids d'acide titanique introduit et à l'état pur (ce qui n'était pas le cas avec d'autres méthodes que nous essayâmes, qui étaient longues et ne donnaient pas du TiO^2 pur). Nous avons alors songé à appliquer cette méthode aux sols, et en particulier à la terre d'Ayat, en opérant absolument dans les mêmes conditions.

Donc, 3 grammes de terre (essai en double). Attaque fluorhydrique, sulfurique. Fusion au bisulfate. Reprise par l'eau. Fait 300 centimètres cubes.

Il est resté à peine 0gr,020 d'insoluble qu'on a vérifié ne pas contenir de titane.

On a donc prélevé 250 centimètres cubes et 40 centimètres cubes comme précédemment. Titré le bisulfate libre sur les 40 centimètres cubes et rajouté de la potasse sur les 250 centimètres cubes pour les amener à contenir 5 grammes de bisulfate non neutralisé.

Il y a lieu de remarquer qu'il s'est formé un léger louche, et nous avons reconnu, comme on le verra plus loin, que c'était du phosphate de titane qui se précipitait, vu la diminution très probable de l'acidité libre.

Néanmoins, nous avons fait la précipitation à l'ébullition, et trouvé comme poids 0gr,0565 et 0gr,0555, c'est-à-dire un poids un peu supérieur à celui correspondant au chiffre trouvé par la méthode colorimétrique directe.

Nous avons pensé, avant de refaire la deuxième précipitation, à

faire une fusion au carbonate de potasse pour séparer l'acide phosphorique entraîné et peut-être aussi un peu d'alumine qui pourrait être entraînée à l'état de phospho-aluminate. (Nous rappelons à ce sujet que dans le mélange synthétique nous n'avions pas mis d'acide phosphorique, vu la faible quantité que les sols contiennent; mais, comme on le voit ici, cette faible quantité vient influer tout de même.)

Auparavant, suivant la diversité d'opinions formulées par différents auteurs par rapport à l'action du CO^3K^2 sur le TiO^2, nous avons tenu à faire quelques essais dans ce sens avec du TiO^2 pur. On lit dans le Dictionnaire de Wurtz (t. III, p. 422): « Par la fusion d'un molécule d'acide titanique avec un excès de carbonate potassique, un molécule d'acide carbonique paraît se déplacer. La partie supérieure de la masse fondue est presque exclusivement formée par l'excès de carbonate; la partie inférieure renferme le titanate neutre TiO^3K^2 (?) [Rose]. Ce sel forme une masse fibreuse jaunâtre plus fusible que le carbonate potassique. Traité par l'eau, il se dédouble en sel basique qui reste dissous et en un titanate acide insoluble; le dernier, lavé jusqu'à ce que les eaux passent troubles, forme une poudre blanche ressemblant à l'acide titanique. H. Rose y a trouvé 17,33 à 18,01 d'oxyde de potassium et 82,67 à 81,99 d'anhydride titanique, soit environ $5\,TiO^2,K^2O = Ti^5O^{11}K^2$ (formule correspondant au métastannate de potassium anhydre).

Donc, d'après cette méthode, si on fond avec du carbonate de potasse et qu'on reprenne par l'eau, il y a une partie du titane qui passe en solution. D'autre part, la méthode de Morgan [1], basée sur la précipitation en phospho-titanate de fer (Arnold), puis fusion de ce dernier avec dix fois son poids de carbonate de potasse, traitement par l'eau, fusion au bisulfate et précipitation par l'acide acétique, est donnée comme une bonne méthode.

La même méthode est citée par Campredon à propos du dosage du titane dans les minerais de fer. Cet auteur dit qu'elle n'est pas à l'abri de tout reproche, mais elle est simple.

Nous avons donc fait un premier essai avec $0^{gr},047$ de TiO^2 pur et

1. *Annales de chimie analytique*, 1897, p. 272.

2 grammes de carbonate de potasse pulvérisé. Mélangé intimement fondu dans la capsule de platine et maintenu trois à quatre minutes en fusion.

Repris par environ 100 à 150 centimètres cubes d'eau. Maintenu quinze minutes en ébullition. Filtré. Le liquide passe clair. Puis lavé à l'eau bouillante. Le liquide passe trouble. Donc l'essai est à rejeter et nous avons pensé à employer de l'eau contenant du carbonate de potasse pour le lavage, croyant obtenir ainsi la filtration claire.

Nous avons donc refait deux essais, l'un avec 0gr,019, l'autre avec 0gr,047 de TiO^2 pur.

Le lavage du titane a été fait avec environ 100 à 150 centimètres cubes de solution bouillante de carbonate de potasse à 2 °/₀. Les liquides de lavage sont restés parfaitement clairs. On a calciné ensuite et fondu avec 5gr,500 de bisulfate de potasse (on a mis 5gr,500 au lieu de 5 grammes pour compenser le carbonate de potasse retenu par le filtre). Puis repris par 250 centimètres cubes d'eau et fait la précipitation de l'acide titanique par ébullition. On a trouvé 0gr,0165 et 0gr,044, c'est-à-dire environ 0gr,003 de différence avec la quantité mise. L'essai de 0gr,047 correspond environ aux quantités obtenues avec le premier précipité des terres. Donc, si on applique cette méthode, il y aurait lieu de tenir compte de la petite quantité de 0gr,003 que l'on perd, toutes choses semblables, bien entendu.

Donc, sur les deux précipités de 0gr,0565 et 0gr,555 que nous avions obtenus avec la terre, nous avons fait ce traitement et nous avons remarqué alors que la solution obtenue après traitement au bisulfate était *absolument limpide*.

On a obtenu, comme poids d'acide titanique après précipitation nouvelle, 0gr,0435 et 0gr,042 ; moyenne, 0gr,04275 qui, vérifiés à l'eau oxygénée, ont donné 0gr,042 et 0gr,040 ; moyenne, 0gr,041, c'est-à-dire que les précipités étaient pour ainsi dire purs.

Donc, cela fera, en rajoutant 0gr,003 perdu par fusion au carbonate : par pesée, 0gr,04575 et par colorimétrie, 0gr,044, ceci pour 2gr,500 de terre, et, pour 100 grammes : 1,82 °/₀ par pesée et 1,76 °/₀ par colorimétrie ; mais la terre sur laquelle ont porté les essais tenait encore 5,60 °/₀ d'eau. Soit, à l'état sec : 1,92 °/₀ et 1,86 °/₀ ; moyenne, 1,89 °/₀.

Or sur le même échantillon nous avions trouvé, par la méthode colorimétrique directe, 1,93 °/₀. Il y a donc parfaite concordance.

Nous ne nous sommes pas tenus seulement à ce qui précède. Nous avons voulu encore vérifier qualitativement le titane par réaction au zinc. En refaisant la même méthode pondérale, et ayant obtenu également 0gr,043 de précipité final, nous l'avons traité par 1 gramme de bisulfate de potasse et repris par un mélange de 10 centimètres cubes d'eau et 2 centimètres cubes de SO^4H^2 pur, puis traité par le zinc. Nous avons eu la coloration violette très franche et très nette, un peu plus faible qu'avec une solution à 5 grammes par litre, mais s'en rapprochant beaucoup.

Nous pouvons donc conclure nettement à la présence de l'acide titanique dans le sol égyptien par les différentes réactions susindiquées :

Précipitation en solution faiblement acide, le précipité calciné donnant franchement une coloration jaune à chaud ;

Colorations caractéristiques des solutions : (*a*) par l'eau oxygénée ; (*b*) par réduction par le zinc.

Nous avons appliqué également la méthode pondérale aux terres de Cheik-Fadl et Nag-Hamadi avec vérification des précipités finaux par la colorimétrie à l'eau oxygénée, et qualitativement par le zinc.

Nous avons ainsi obtenu : dans la terre de Cheik-Fadl, 1,97 °/₀, et dans la terre de Nag-Hamadi, 2,04 °/₀ ; (ces chiffres sont les moyennes des résultats trouvés par pesée des précipités finaux, et leur vérification par la colorimétrie, les résultats ayant varié entre eux de 0,04 à 0,06 °/₀, c'est-à-dire d'une quantité très faible).

Finalement, résumons les résultats trouvés par la méthode colorimétrique directe et la méthode pondérale sur les terres d'Égypte.

On a ainsi :

TERRES	ACIDE TITANIQUE pour cent — Méthode colorimétrique directe	ACIDE TITANIQUE pour cent — Méthode pondérale
Ayat	1,93	1,89
Cheik-Fadl	2,05	1,97
Nag-Hamadi	2,11	2,04

On voit donc que les deux méthodes concordent bien et qu'on

peut avec avantage se servir de la méthode colorimétrique directe qui est tout aussi juste, mais plus rapide.

2° **Terres contenant moins de 1 °/₀ d'acide titanique.** — Comme on l'a vu précédemment, nous préconisons une méthode pondérale qui donne, somme toute, déjà une quantité pondérable d'acide titanique pur d'environ 0gr,040 à 0gr,050 permettant, en en faisant une solution dans un volume restreint, c'est-à-dire 10 à 15 centimètres cubes, de vérifier qualitativement la réaction colorée par réduction avec le zinc.

Pour la terre d'Audruicq sur laquelle nous n'avons trouvé colorimétriquement qu'environ 0,50 °/₀ d'acide titanique, avec 2gr,500 de terre, il est évident que nous n'obtiendrons qu'un très faible précipité, surtout étant obligé de le purifier avec du carbonate de potasse.

Nous avons donc immédiatement modifié notre méthode comme suit :

Pris deux capsules de platine dans chacune desquelles on a mis 5 grammes de terre très finement pulvérisée (elle contenait encore 0,82 °/₀ d'eau). Calciné pour détruire les matières organiques.

Puis dans chaque capsule ajouté le mélange suivant : 10 grammes de carbonate de soude pur et sec ; 10 grammes de carbonate de potasse pur et sec. Bien mélangé et fondu à fusion tranquille.

Détaché les deux culots après refroidissement, et repris le tout dans une capsule de 500 centimètres cubes par 100 à 150 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur et 200 centimètres cubes d'eau. Ajouté un peu de chlorate de potasse pour peroxyder et évaporé à sec, avec calcination pour insolubiliser la silice.

Repris par de l'eau contenant 50 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur. Filtré.

La silice calcinée pesait 7gr,255 ou 72,55 °/₀ de terre. Elle a été humectée avec un peu d'eau, puis 50 grammes d'acide fluorhydrique et 2 centimètres cubes d'acide sulfurique pur (il est bon d'ajouter un peu d'eau à la silice pour éviter une attaque trop violente qui se produirait à l'addition d'acide fluorhydrique sur de la silice en poudre). Évaporé ensuite à sec, on a eu un résidu sulfaté pesant 0gr,337, dont nous reparlerons plus loin.

Les liquides provenant de l'attaque chlorhydrique ont été répartis

dans trois verres de 400 centimètres cubes environ et précipités par l'ammoniaque. Les précipités ont été desséchés à l'étuve, détachés ensuite et on n'a calciné que les filtres. Le tout, pulvérisé assez finement, a été ajouté au résidu de l'attaque fluorhydrique de la silice et fondu avec 15 grammes de bisulfate de potasse. (On a lavé le mortier avec un peu d'eau, mis à évaporer dans une capsule de platine, puis fondu avec 2 grammes de bisulfate de potasse.)

L'ensemble des deux fusions a été dissous dans 200 centimètres cubes d'eau. La solution présentait un louche dû à un peu de précipité gélatineux (phosphate de titane). On l'a neutralisé complètement par un peu de solution de potasse, puis rajouté 5 grammes de bisulfate de potasse et effectué la précipitation du TiO^2 par ébullition en présence d'acide sulfureux.

Le précipité obtenu était gélatineux, c'est-à-dire différent de l'aspect de l'acide métatitanique qui est très fin et grenu.

Calciné il pesait $0^{gr},1115$.

On a effectué un traitement au carbonate de potasse. (Nous avons reconnu dans la solution carbonatée, acidifiée par l'acide nitrique, la présence très nette de l'acide phosphorique au moyen du nitro-molybdate d'ammoniaque.)

Le titanate insoluble a été refondu avec 5 grammes de bisulfate de potasse, puis redissous. La solution n'était pas encore claire. On a précipité néanmoins l'acide titanique et obtenu ainsi $0^{gr},0535$ de précipité.

Sur ce précipité nous avons refait un traitement au carbonate de potasse suivi d'une fusion au bisulfate. Nous avons eu alors une dissolution sulfatée absolument limpide.

On en a précipité l'acide titanique, et on a obtenu $0^{gr},0375$ de précipité.

Nous avons pensé que le précipité ainsi obtenu était de l'acide titanique pur.

En en faisant 100 centimètres cubes de solution, nous avons retrouvé par la colorimétrie à l'eau oxygénée $0^{gr},0375$ de TiO^2 pur, c'est-à-dire précisément le chiffre trouvé plus haut. Ayant pris très peu de solution pour le titrage à l'eau oxygénée, nous avons évaporé à douce chaleur le restant de la solution sous un volume faible, et

nous avons ainsi obtenu en réduisant par le zinc une coloration violette forte et très caractéristique.

En résumé, nous avons trouvé par pesée $0^{gr},0375$ de TiO^2. Comme nous avons fait deux traitements au carbonate de potasse, il y a lieu de rajouter $0^{gr},006$ au résultat précédent.

Il y aurait donc $0^{gr},0375 + 0^{gr},006 = 0^{gr},0435$ de TiO^2 dans les 10 grammes de terre sur lesquels on a opéré, c'est-à-dire 0,435 °/₀.

La terre contenant encore 0,82 °/₀ d'eau, cela fera à l'état sec 0,44 °/₀ d'acide titanique pur. Nous avions trouvé par la colorimétrie directe 0,47 °/₀.

Les deux méthodes donnent donc des résultats concordants.

Nous sommes ainsi arrivés à établir deux méthodes pondérales permettant de séparer sous une forme pure l'acide titanique dans les sols, même en quantités minimes.

Nous croyons utile de résumer maintenant les trois méthodes dont nous avons parlé pour les sols, c'est-à-dire :

1° Méthode colorimétrique directe ;

2° Méthode pondérale dans les sols contenant plus de 1 °/₀ d'acide titanique ;

3° Méthode pondérale dans les sols contenant moins de 1 °/₀ d'acide titanique.

Note résumée sur les méthodes à employer pour doser l'acide titanique dans les sols

I. — **Méthode colorimétrique directe.** — Prendre $0^{gr},500$ de terre séchée, finement pulvérisée. Les introduire dans une capsule de platine contenant au préalable 15 grammes d'acide fluorhydrique pur. Ajouter ensuite 1 centimètre cube de SO^4H^2 pur à 66° Baumé. Évaporer à siccité. Détacher le résidu, ce qui est facile, le pulvériser à la spatule et le mélanger avec 5 grammes de bisulfate de potasse (préparé synthétiquement avec les quantités de sulfate neutre et acide sulfurique à 66° théoriques). Fondre.

Reprendre par de l'eau distillée contenant 15 centimètres cubes de SO^4H^2 pur dans 100 centimètres cubes et à une température

maximum de 60°. Laisser refroidir, compléter à 100 centimètres cubes. Tout doit être *dissous*.

Prendre 1 à 10 centimètres cubes qu'on complète à 10 centimètres cubes avec de l'eau distillée, ajouter 5 centimètres cubes d'eau oxygénée à 12 volumes et examiner au colorimètre Josse.

Par comparaison avec une solution d'acide titanique pur à 0gr,100 par litre, on déduit la quantité d'acide titanique.

Une solution à 0gr,100 de TiO^2 par litre donne environ 60 à 70 colories.

II. — **Méthode pondérale pour les terres contenant plus de 1 °/₀ d'acide titanique.** — Mettre dans une capsule de platine 30 grammes d'acide fluorhydrique pur et y ajouter par petites portions 3 grammes de terre desséchée et finement pulvérisée. Ajouter ensuite 3 centimètres cubes d'acide sulfurique pur. Évaporer au bain-marie. Puis calciner légèrement pour aller juste à siccité et ne pas décomposer les sulfates formés.

Pulvériser le résidu *grosso modo* dans la capsule avec une spatule et le mélanger avec 15 grammes de bisulfate de potasse. Fondre le tout. Après refroidissement, détacher le culot de la capsule et le pulvériser grossièrement. Dissoudre ensuite dans 200 à 250 centimètres cubes d'eau à une température de 60°. Après refroidissement, compléter à 300 centimètres cubes. Filtrer pour séparer des traces de sable (5 à 10 milligrammes au maximum).

Du liquide prélever 250 centimètres cubes (c'est-à-dire 2gr,500 de terre) que l'on met dans un verre de Bohême de 100 centimètres cubes. Sur le restant prendre 40 centimètres cubes, que l'on titre avec une solution de potasse telle que 10 centimètres cubes neutralisent exactement 5 grammes de bisulfate de potasse.

Puis, aux 250 centimètres cubes ajouter une quantité de liqueur de potasse telle qu'ils renferment 5 grammes de bisulfate non neutralisé.

Ajouter ensuite 50 centimètres cubes de solution d'acide sulfureux (à 1 020-1 025 de densité) fraîchement préparée. Puis porter à l'ébullition pendant deux heures. (Ajouter deux fois pendant la durée de l'ébullition 50 centimètres cubes de solution sulfureuse.) Filtrer et

laver à l'eau bouillante. Calciner le précipité. C'est de l'acide titanique presque pur contenant un peu d'acide phosphorique.

Le refondre avec 2 grammes de carbonate de potasse pur et reprendre par l'eau bouillante. Filtrer, laver avec une solution de carbonate de potasse à 2 °/₀. L'acide titanique reste sous forme de titanate insoluble. Une très faible partie passe en solution. On en tient compte par un essai témoin avec les mêmes quantités d'acide titanique initial.

Le titanate insoluble est calciné puis refondu avec 5 grammes de bisulfate de potasse.

On le précipite ensuite comme il a été dit plus haut. Le TiO^2 obtenu est calciné et on y ajoute le chiffre trouvé pour la quantité perdue par la fusion au carbonate de potasse.

On rapporte à 100 grammes de terre sèche. On vérifie sur les derniers précipités obtenus leur pureté par un titrage à l'eau oxygénée, et aussi en faisant une solution assez concentrée [3 à 5 (°/₀₀)], la réaction au zinc.

III. — **Méthode pondérale pour les terres contenant moins de 1 °/₀ d'acide titanique.** — Prendre deux capsules de platine, et dans chaque mettre 5 grammes de terre séchée finement pulvérisée, puis calciner pour détruire les matières organiques. Dans chaque capsule, mettre : 10 grammes de carbonate de soude pur et sec et 10 grammes de carbonate de potasse pur et sec. Mélanger et fondre. Reprendre par l'eau chlorhydrique le résultat des deux fusions. Évaporer à sec et calciner pour insolubiliser la silice. Reprendre par l'eau chlorhydrique et filtrer. Calciner la silice. On a donc :

1° De la silice ;

2° Une solution chlorhydrique.

La silice est traitée par un mélange d'acide fluorhydrique et sulfurique et laisse un résidu sulfaté. La solution chlorhydrique est précipitée par l'ammoniaque, le précipité séché à l'étuve, puis détaché du filtre ; le filtre seul est calciné.

L'ensemble du résidu de la silice et des précipités par l'ammoniaque + cendres des filtres est fondu avec 15 à 20 grammes de bisulfate de potasse.

Suivre alors la méthode ordinaire pour la précipitation de l'acide titanique (c'est-à-dire avec 5 grammes de bisulfate non neutralisé pour 250 centimètres cubes de solution).

Faire un ou deux traitements intermédiaires au carbonate de potasse fondu.

Finalement une dernière précipitation donne l'acide titanique pur.

On le vérifie quantitativement par l'eau oxygénée et qualitativement par le zinc.

RECHERCHE ET DOSAGE DE L'ACIDE TITANIQUE DANS LES CENDRES DE VÉGÉTAUX (canne et betterave)

(Par MM. H. Pellet et Ch. Fribourg)

Généralités. — Nos essais ont d'abord porté sur les cendres de cannes à sucre, en particulier de cannes à sucre de provenance égyptienne.

Nous avons donc eu à préparer des cendres de cannes en nous y prenant de la façon suivante:

Pendant toute la campagne 1902-1903, on a prélevé des échantillons de cossettes de cannes à la sucrerie de El-Hawamdieh (Égypte) que l'on a desséchés à l'étuve au fur et à mesure. Cela représentait 70^{kg},730 de cannes fraîches. Après la fabrication, le tout a été calciné, et laissa 558 grammes de cendres grises.

Ces cendres ont été soumises à un lessivage: la partie lessivée évaporée à sec, la partie insoluble recalcinée pour détruire le charbon restant. Puis le tout a été de nouveau réuni et a donné un total de 484 grammes de cendres finales.

Nous avons déjà donné dans un autre mémoire ayant trait à « la composition minérale de la canne à sucre » la composition de ces cendres.

Essai de la méthode colorimétrique directe. — Au point de vue du titane, nous avons tenu à essayer tout de suite la méthode colorimétrique directe employée pour les terres, pensant qu'elle pourrait convenir. En effet elle allait bien, mais seulement nous avons dû

simplement changer la prise d'essai, vu que la quantité d'acide titanique est bien faible.

Donc nous prenons 2gr,500 de cendres que nous attaquons par 10 à 15 grammes de H Fl pur, et 1 centimètre cube d'acide sulfurique pur.

Fusion avec 5 grammes de bisulfate.

Faire ensuite 100 centimètres cubes de solution contenant 15 centimètres cubes de SO^4H^2 pur.

Titrer à l'eau oxygénée.

Nous avons ainsi trouvé dans les cendres de cannes ci-dessus : 0,17 °/o d'acide titanique pur.

Essai d'une méthode pondérale. — Nous avons voulu vérifier le dosage précédent par un dosage pondéral.

Il y a lieu tout d'abord de dire qu'il y a une grande différence entre la composition des sols et celle des cendres, et que la méthode applicable aux sols ne s'applique pas aux cendres, d'autant plus que dans les sols on trouve une plus grande quantité d'acide titanique en présence de fer, alumine en notables proportions, mais en présence de très petites quantités d'acide phosphorique.

Dans les cendres au contraire on trouve des traces d'acide titanique en présence de traces de fer et alumine, mais de quantités notables d'acide phosphorique.

Les cendres provenant de matières calcinées, il est possible qu'une partie notable de l'acide titanique y contenu soit devenue insoluble dans les acides.

Nous avons donc dans ce but employé la méthode suivante en opérant sur 50 grammes de cendres, c'est-à-dire une quantité importante, méthode consistant en une attaque chlorhydrique donnant : 1° une silice insoluble ; 2° une liqueur chlorhydrique, et à doser séparément sur chaque l'acide titanique.

Nous avons pris deux capsules de 500 centimètres cubes et mis dans chacune 50 grammes de cendres + 150 centimètres cubes d'eau et 150 centimètres cubes de HCl pur, avec 1 gramme de chlorate de potasse. Évaporé à sec. Calciné. Repris par l'eau chlorhydrique. Filtré et lavé. On a obtenu comme silice insoluble 13gr,765 et

13gr,737, c'est-à-dire 27,53 et 27,47 %; les liquides chlorhydriques ont été mis à part.

Les silices ont été traitées chacune par le mélange fluorhydrique et sulfurique, puis par 20 grammes de bisulfate de potasse, et enfin fait 250 centimètres cubes de solution aqueuse. Cette solution était un peu trouble, et cela est dû à du phosphate ainsi que nous l'avons constaté plus loin.

Il nous a suffi d'une première précipitation suivie d'un traitement au carbonate de potasse et d'une nouvelle fusion au bisulfate, qui a donné alors une solution parfaitement claire, pour obtenir par une nouvelle précipitation de l'acide titanique pur.

On a pesé 0gr,0557 et 0gr,057.

Le premier précipité refondu et fait 10 centimètres cubes de solution sulfurique a donné avec le zinc une coloration violette très forte.

Le deuxième précipité refondu et amené à 100 centimètres cubes, puis titré à l'eau oxygénée, a donné 0gr,055 contre 0gr,057 pesé. En résumé, on a trouvé par pesée 0gr,056 et 0gr,057 qu'on peut transformer d'après le titrage à l'eau oxygénée en 0gr,055 de TiO^2 pur, auquel il y a lieu d'ajouter 0gr,003 pour la fusion au carbonate de potasse.

Cela fait 0gr,058 pour 50 grammes de cendres, et 0gr,116 pour 100 grammes de cendres: en gros 0gr,12 contre 0gr,17 trouvé par la méthode colorimétrique directe.

Il est à présumer que la différence 0,05 % se trouve dans la solution chlorhydrique.

Pour arriver à isoler l'acide titanique de la solution chlorhydrique, nous nous sommes inspirés des méthodes de Morgan et d'Arnold, basées sur la séparation à l'état de phosphotitanate de fer, par addition de phosphate d'ammoniaque; il est dit dans cette méthode qu'il faut calciner assez fortement après l'évaporation à sec.

Nous avons poursuivi le but suivant : ajouter une quantité de phosphate d'ammoniaque telle que toutes les bases soient converties en phosphates, et en même temps un peu de perchlorure de fer pour être sûr de la formation de phosphotitanate.

Le liquide du premier essai de 50 grammes nous a servi comme essai et étude préliminaire.

Le second pour essai final.

Ce liquide a été concentré à 200 centimètres cubes environ et additionné de 0^{gr},500 de perchlorure de fer sublimé et 25 grammes de phosphate d'ammoniaque.

Évaporé jusqu'à siccité dans du platine, puis calciné jusqu'à disparition du chlorure d'ammonium, la masse devenant pâteuse.

Le tout est repris par l'eau chlorhydrique jusqu'à désagrégation complète par ébullition.

Filtré pour séparer l'insoluble. Calciné légèrement, et fondu avec 15 grammes de carbonate de potasse pour décomposer le phosphate multiple obtenu.

Repris par l'eau bouillante et lavé avec le carbonate de potasse à 2 °/₀.

Fait ensuite un traitement au bisulfate, avec précipitation de l'acide titanique. Une deuxième fusion avec 2 grammes de carbonate de potasse suivie d'une nouvelle fusion au bisulfate et précipitation qui nous a donné 0^{gr},020 de précipité contenant par titrage à l'eau oxygénée 0^{gr},015 de TiO^2 pur.

On doit donc rajouter 0^{gr},006 pour les deux fusions carbonatées. Cela fait un total de 0^{gr},021 retrouvé; et pour 100 grammes de cendres 0^{gr},042.

En ajoutant au résultat trouvé sur la silice cela fait 0,12 et 0,04, soit un total de 0,16 °/₀ retrouvé par pesée contre 0,17 par colorimétrie directe.

On voit que le précipité final obtenu dans la solution chlorhydrique n'était pas encore très pur. Mais néanmoins, vu les difficultés de séparation, le résultat est déjà assez satisfaisant.

Depuis nous avons expérimenté très longuement la méthode de dosage de l'alumine par le procédé Carnot : méthode de précipitation par les phosphates en présence d'hyposulfite de soude et en solution chlorhydro-acétique, et nous pensons qu'on simplifierait énormément la méthode précédente en l'appliquant au liquide chlorhydrique des cendres. On précipiterait ainsi directement le titane et l'alumine à l'état de phosphates, et par des traitements au bisulfate et au carbonate de potasse on arriverait plus vite à l'acide titanique pur.

Comme on le voit, le dosage pondéral de l'acide titanique dans les

cendres de végétaux, surtout s'il est en petites proportions, et en présence d'une quantité assez notable d'acide phosphorique, n'est pas chose très facile, et la méthode colorimétrique directe telle que nous l'avons exposée est beaucoup plus rapide et tout aussi exacte.

Nous donnerons ci-dessous la méthode résumée pour le dosage pondéral de l'acide titanique dans les cendres de végétaux contenant cet acide titanique en petites quantités.

Note résumée sur la méthode à employer pour séparer et doser pondéralement l'acide titanique contenu en petites quantités dans les cendres de végétaux

Attaquer 50 grammes de cendres par l'acide chlorhydrique dilué. Évaporer à sec. Calciner. Reprendre par l'eau chlorhydrique. Séparer la silice par filtration.

On a donc :

1° De la silice ;

2° Une solution chlorhydrique.

La silice est traitée par le mélange d'acides fluorhydrique et sulfurique. On suit le traitement ordinaire pour y doser l'acide titanique, c'est-à-dire :

1° Fusion au bisulfate et précipitation ;

2° Fusion au carbonate de potasse ;

3° Seconde fusion au bisulfate et précipitation de l'acide titanique pur ;

4° Vérification par l'eau oxygénée et le zinc.

Pour la solution chlorhydrique, on précipite l'alumine et le titane par le phosphate de soude en présence d'hyposulfite de soude, en solution chlorhydro-acétique (méthode Carnot pour dosage de l'alumine) ; l'alumine et le titane sont précipités à l'état de phosphates. Ces phosphates sont traités par le carbonate de potasse suivi d'une fusion bisulfatée et précipitation, et subissent un deuxième traitement semblable si par le premier on n'arrive pas à l'acide titanique pur.

Le dernier précipité d'acide titanique est vérifié également par l'eau oxygénée et le zinc.



Nouvelles déterminations du titane faites sur des cannes, des jus de cannes et des betteraves

Comme on l'a vu précédemment, les cannes qui nous ont servi à préparer les cendres étaient des cossettes tout-venant de la fabrication et, par conséquent, nous ne pouvions affirmer que l'acide titanique y contenu provenait exclusivement des cannes. En effet, dans l'analyse des cendres nous avons trouvé une petite quantité de sable, c'est-à-dire que les cossettes contenaient un peu de terre, et l'acide titanique pouvait donc provenir de la terre.

Nous avons alors repris une certaine quantité de cannes que nous avons nettoyées nous-mêmes avec grand soin, découpées, desséchées, puis préparé des cendres comme il a été dit plus haut.

Les cendres ainsi obtenues n'ont donné que des traces absolument insignifiantes d'acide titanique en opérant par la méthode colorimétrique directe.

Il est donc à supposer que l'acide titanique trouvé plus haut provenait exclusivement de la terre renfermée dans les cendres, et qu'il n'existe pas normalement ou du moins en très petites quantités dans la canne. Ceci est exact pour les cannes récoltées en Égypte du moins, mais il est impossible d'affirmer qu'il en soit ainsi pour toutes les cannes. Il est parfaitement possible que les cannes de Hawaï renferment normalement du titane même en opérant sur des cendres absolument pures. Cela peut tenir d'autre part à ce que la canne, à Hawaï, a une durée de végétation de vingt à vingt-deux mois, alors que la canne en Égypte ne végète que durant huit à douze mois.

Nous avons préparé également avec beaucoup de soin des cendres de betteraves à l'usine de Pont-d'Ardres (France), en suivant toutes les précautions mentionnées plus haut.

Là aussi nous n'avons pas trouvé d'acide titanique.

Nous avons préparé d'autre part des cendres de jus *industriels*, de cannes provenant de deux usines d'Égypte travaillant :

1° L'une par pression ;

2° L'autre par diffusion.

Nous y avons dosé le titane par la méthode colorimétrique directe et obtenu :

	ACIDE TITANIQUE pour cent de cendres
Dans les cendres de jus de pression.	0,11
— diffusion.	néant

Nous avons aussi dosé l'acide titanique dans sept échantillons de mélasses de différentes usines d'Égypte et trouvé :

	ACIDE TITANIQUE pour cent de cendres
Mélasses d'usines travaillant par diffusion	0,01 à 0,02
— pression.	0,01 à 0,02
Mélasses de raffinerie	0,03

Recherche et dosage de l'acide titanique dans les cendres de bagasse de Java, d'après H. Pellet et Ch. Fribourg. — Sur notre demande, notre distingué collègue, M. Prinsen-Geerligs, directeur de la station d'essais de Java, nous a adressé différents échantillons de cendres de bagasse étiquetés comme suit :

1° Cendres de bagasse de la sucrerie Bœdveran ;

2° Cendres de bagasse retirées d'un four à gaz dit de Kersten de la sucrerie de Mingirran ;

3° Cendres de bagasse incomplètement brûlée (la bagasse initiale renfermant 53 °/₀ d'eau) ;

4° Cendres de bagasse de la sucrerie de Tjebongan.

Toutes ces cendres de bagasses proviennent de bagasses de moulins brûlées sans bois ni feuilles ;

5° Cendres de feuilles d'un four spécial où on ne brûle que des feuilles de cannes sèches.

Sur toutes ces cendres finement pulvérisées, et bien calcinées, certaines même avec un lessivage préalable, nous avons dosé le titane par la même méthode colorimétrique que celle employée pour les cendres de cannes et qui s'applique du reste très bien.

Nous avons ainsi dosé :

	ACIDE TITANIQUE pour cent de cendres
N° 1	0,176
2	0,074
3	0,126
4	0,161
5	0,129

Mais nous rappelons de suite que dans tous ces produits industriels le titane peut provenir de ce que la canne travaillée a apporté de la terre, que l'on retrouve partout ensuite dans les jus, les écumes, les mélasses et naturellement dans la bagasse. D'autant plus que les jus de cannes clarifiés ne peuvent être filtrés comme les jus de betteraves.

Recherche et dosage de l'acide titanique dans les écumes de sucrerie, d'après H. Pellet et Ch. Fribourg. — Enfin, pour compléter notre étude, nous avons voulu doser l'acide titanique dans des écumes de sucreries de cannes, soit de carbonatation, soit de défécation.

Nous avons employé la méthode colorimétrique directe avec une petite variante, vu la quantité de chaux contenue.

Les écumes renfermant 3 à 5 °/₀ d'eau, c'est-à-dire à peu près sèches, on en a calciné 5 grammes puis repris par l'eau chlorhydrique, avec un peu de chlorate de potasse. Ensuite, sans filtrer, ajouté de l'ammoniaque.

Le précipité ainsi obtenu est calciné puis traité par l'acide fluorhydrique (15 à 25 grammes) avec 1 à 2 centimètres cubes d'acide sulfurique.

On fond alors avec 5 grammes de bisulfate, et ensuite on fait 100 centimètres cubes de solution, que l'on titre colorimétriquement à l'eau oxygénée.

Nous avons trouvé :

	Acide titanique pour cent d'écumes
Écumes de carbonatation (usine travaillant par diffusion) .	0,014
Écumes de défécation (usine travaillant par pression). . .	0,34

QUATRIÈME PARTIE

CONCLUSIONS

Dans l'étude que nous venons de présenter, notre but a donc été de faire d'abord une revision rapide des propriétés principales du

titane et de ses dérivés, puis une bibliographie assez complète de toutes les méthodes de séparation et de dosage de l'acide titanique actuellement connues.

Enfin nous avons nous-mêmes étudié des méthodes de dosage de l'acide titanique, soit colorimétriques, soit pondérales.

Ensuite, vu les quantités d'acide titanique trouvées par divers auteurs dans certains sols, et sur les suppositions faites par d'autres de la possibilité de rencontrer l'acide titanique dans certains végétaux et notamment dans la canne à sucre et la betterave, puis également après les résultats de M. Maxwell qui a trouvé des quantités d'acide titanique assez élevées dans les cendres de cannes (tiges et feuilles), notre but a été d'étudier cette question. Comme on l'a vu, nous avons établi des méthodes les unes très simplifiées, les autres un peu plus complexes pour doser l'acide titanique dans les sols et les cendres de végétaux.

M. Maxwell a trouvé 2gr,46 d'acide titanique pour 100 grammes de terre à 9,50 °/₀ d'humidité.

De notre côté nous avons trouvé :

1° Terre d'Égypte pour la culture de la canne à sucre : des quantités on peut dire à peu près uniformes, suivant la provenance :

	TiO^2 pour 100 grammes de terre sèche
A 80 kilomètres du Caire	1,89
A 200 —	1,79
A 600 —	2,04

c'est-à-dire 2 °/₀ en moyenne ;

2° Terre d'Audruicq (France) pour la culture de la betterave : 0gr,47 d'acide titanique pour 100 grammes de terre sèche.

Comme on le voit, l'acide titanique existe dans les sols de culture et en proportions variables.

Pour ce qui est des cendres de végétaux, M. Maxwell avait trouvé : 1gr,11 et 1gr,63 d'acide titanique pour 100 grammes de cendres provenant de deux variétés de cannes, et, pour les cendres de feuilles des mêmes cannes, 1gr,12 et 1gr,38 de TiO^2.

Dans les essais que nous avons faits sur les cendres de cannes, nous

avons trouvé 0gr,17 de TiO^2 °/o dans des cendres contenant encore un peu de terre.

Mais sur des cendres de cannes et de betteraves préparées avec beaucoup de soins nous n'avons pas trouvé d'acide titanique.

Nous avons trouvé de l'acide titanique, en très petites quantités, il est vrai, dans des produits de fabrication, jus, mélasses, écumes, bagasses...

Mais ces quantités sont d'autant plus faibles que les procédés d'extraction sont plus soignés, et industriellement il n'est pas possible d'éliminer la terre qu'apporte toujours la canne par ses radicelles. Ainsi les jus de pression nous ont donné des cendres contenant 0,11 °/o d'acide titanique, tandis que les jus de diffusion qui subissent, somme toute, déjà une épuration physique, sorte de filtration sur la cossette, ont donné des cendres renfermant à peine de l'acide titanique.

Le même phénomène s'est produit dans une étude analogue que nous avons faite en vue de la recherche de l'alumine dans la canne à sucre et la betterave, c'est-à-dire qu'on trouvait de l'alumine si les cendres étaient préparées avec des produits contenant encore un peu de terre; mais on n'en trouvait plus, ou des traces, dans des cendres préparées avec des produits parfaitement nettoyés et exempts de terre.

De même les résultats obtenus avec les écumes sont très probants.

L'écume de carbonatation qui résulte d'un jus de cannes par diffusion ne renferme que des traces de titane.

L'écume de défécation d'un jus de cannes obtenu par pression, et qui contient évidemment et forcément de la terre, renferme 0,34 °/o d'acide titanique, c'est-à-dire une quantité notable.

La conclusion est donc que l'acide titanique, ainsi que l'alumine du reste, n'existe pas normalement dans la canne et la betterave, et que si on en trouve dans les produits industriels, cet acide titanique provient de la terre apportée par les matières premières. Cela est exact pour les cannes récoltées en Égypte et pour des betteraves récoltées dans le nord de la France; mais il nous est impossible de certifier que nos conclusions s'appliquent à toutes les cannes et à toutes les betteraves.

C'est dans le but de faciliter les recherches et les dosages du titane

dans les cendres pures de végétaux que nous avons fait cette étude, et après quelques analyses exécutées par plusieurs de nos collègues sur des végétaux récoltés en différents pays on pourra conclure définitivement à l'absence ou à la présence normale du titane dans la betterave, la canne à sucre, etc.

NOTE ADDITIONNELLE

Notre mémoire était à l'impression lorsque nous avons eu connaissance d'une note de M. P. Truchot, intitulée « Dosage du titane dans les minerais », parue dans les *Annales de chimie analytique* du 15 octobre 1905.

Le travail de M. P. Truchot est très intéressant et nous sommes heureux de constater que nous avons observé chacun de notre côté des faits analogues en ce qui concerne différentes méthodes de précipitation de l'acide titanique ou de séparation de la silice d'avec l'acide titanique.

Nous avons également cherché à réduire la durée d'ébullition des liqueurs pour précipiter tout l'acide titanique et éviter la précipitation du fer lors de l'emploi des méthodes pondérales. M. P. Truchot préfère les méthodes pondérales aux méthodes colorimétriques pour le dosage du titane, mais nous pensons qu'à la suite des essais que nous avons répétés à cet égard il reconnaîtra que la méthode à l'eau oxygénée peut être appliquée dans bien des cas.

De plus, nos études ont porté sur le dosage du titane surtout dans les cendres des végétaux et dans les terres, et on a pu voir que pour les cas particuliers il faut aussi modifier plus ou moins la marche à suivre pour obtenir de bons résultats.

A propos des méthodes colorimétriques nous pensons que la réaction de L. Lévy pourrait être appliquée pour le dosage de très petites quantités de titane, c'est-à-dire là où la sensibilité de la méthode à l'eau oxygénée pourrait laisser des doutes.

La réaction de Lévy est basée sur la coloration que donne l'hydroquinone en présence de l'acide titanique en solution sulfurique. La

sensibilité de cette réaction permet de déceler 1/100000e de milligramme d'acide titanique.

Du reste, M. P. Truchot dit que l'intensité de la coloration rouge grenat qui se forme est proportionnelle à la teneur en acide titanique.

On opérerait donc dans ce cas comme pour le dosage du sucre dans les produits de la sucrerie. Le saccharimètre est suffisant pour le dosage du sucre jusqu'à $0^{gr},2$ à $0^{gr},3$ par litre et en examinant ensuite les liquides dans des tubes de $0^{m},40$ ou de $0^{m},50$ de longueur. Après, les résultats sont incertains et il faut employer la méthode par décoloration des liqueurs cupriques qui est plus sensible mais qui ne l'est pas encore suffisamment pour constater des traces de sucre dans les eaux de condensation, etc. C'est alors qu'on se sert aussi d'une réaction colorée pour déceler ces traces de sucre, basée sur la coloration violacée que produit l'alpha-naphtol en présence du sucre en solution sulfurique chaude.

L'un de nous a décrit une méthode qui permet de doser précisément le sucre dans les liquides divers et ce à partir du moment où cesse la sensibilité du saccharimètre. D'autre part, la réaction colorée étant trop intense avec des doses élevées de sucre, l'exactitude du procédé s'en ressent. On a donc ainsi le moyen de doser rapidement et sûrement le sucre dans des liquides très étendus et ce jusqu'à 2 et 3 milligrammes par litre.

Il est probable qu'il en serait de même avec la réaction de Lévy donnant la coloration rouge grenat, qui pourrait être employée pour le dosage de très faibles quantités de titane dans des substances diverses et ce en suivant la méthode décrite par M. Lévy ou en la modifiant au besoin, comme nous avons modifié la marche généralement suivie pour la réaction du sucre avec l'alpha-naphtol.

Ordinairement on mettait l'alpha-naphtol dans la solution sucrée et on ajoutait de l'acide sulfurique avec certaine précaution pour obtenir l'anneau coloré.

Dans le procédé Pellet et Giesbers on met d'abord l'acide sulfurique, puis l'eau à essayer et ensuite le réactif. On agite et on a une coloration proportionnelle à la quantité de sucre en opérant toujours dans des conditions identiques.

NOTE

SUR LE

DOSAGE DES SUCRES RÉDUCTEURS

PAR LA MÉTHODE DE LEHMANN

MODIFIÉE PAR M. MAQUENNE

Par MM. L. MASSOL et A. GALLEMAND

(TRAVAIL DE L'INSTITUT PASTEUR DE LILLE)

Les méthodes de dosage des sucres réducteurs sont nombreuses. La méthode de Soxhlet par pesée du cuivre est très précise, mais longue et délicate. La méthode de Violette, basée sur la décoloration de la liqueur de Fehling, est plus rapide, mais susceptible de causes d'erreurs. Elle oblige à opérer toujours sensiblement dans les mêmes conditions de concentration, et, en outre, elle devient inapplicable lorsqu'il se produit, pendant la réduction, des teintes verdâtres qui empêchent de saisir le moment de la décoloration.

La méthode de Lehmann, modifiée par M. Maquenne, évite la lenteur de la méthode pondérale ou l'appréciation incertaine de la décoloration de la liqueur de Fehling. Elle détermine, par la méthode iodométrique, le poids de cuivre non réduit de la liqueur cupropotassique pour obtenir par différence le poids de cuivre réduit. Mais, puisqu'il n'y a pas proportionnalité entre le poids de cuivre réduit et le sucre réducteur, on est obligé, comme dans la méthode pondérale, d'employer des tables établies expérimentalement. Nous allons donner

plus loin ces tables et la méthode que nous avons suivie pour les établir.

Nous avons employé les liqueurs de Soxhlet ainsi composées :

1° 39,639 de sulfate de cuivre, en solution dans la quantité d'eau suffisante pour faire 500 centimètres cubes ;

2° 173 grammes de sel de Seignette et 51gr,6 de NaOH, complétés à 500 centimètres cubes.

De cette manière, la solution de sulfate de cuivre conserve un titre constant. On opère le mélange des deux solutions au moment de s'en servir, en versant la solution n° 2 dans la solution n° 1.

Nous prenons 10 centimètres cubes de chacune d'elles. La réaction s'effectue dans un Erlenmeyer de 125 centimètres cubes environ, fermé par un bouchon en caoutchouc à un trou muni d'un tube de verre pour diminuer l'évaporation et la rendre sensiblement égale d'un dosage à l'autre. On fait bouillir la liqueur et on ajoute de suite 20 centimètres cubes de la solution sucrée à essayer, contenant au plus 0,40 °/₀ de sucre réducteur. L'ébullition est maintenue deux minutes pour le glucose, le lévulose et le sucre interverti, quatre minutes pour le maltose (ces temps sont comptés à partir de l'instant où l'ébullition recommence après l'addition des 20 centimètres cubes de solution sucrée). On refroidit ensuite le matras dans l'eau courante et on ajoute 10 centimètres cubes d'acide sulfurique à 50 °/₀ en volume. On refroidit à nouveau et on ajoute 10 centimètres cubes d'une solution à 10 °/₀ d'iodure de potassium. Il se forme de l'iodure cuivreux avec le cuivre non réduit et il se sépare une quantité d'iode égale à celle contenue dans l'iodure cuivreux d'après la formule :

$$2SO^4Cu + 4KI = 2SO^4K^2 + Cu^2I^2 + I^2.$$

Il suffit alors de doser l'iode libre par l'hyposulfite de sodium en présence d'empois d'amidon comme indicateur pour pouvoir remonter au cuivre.

La solution d'hyposulfite est à 2 °/₀ environ : on la titre préalablement par rapport à la solution de sulfate de cuivre de titre rigoureusement établi par la méthode électrolytique. Supposons donc ce titre connu et égal à 39gr,639 de sulfate de cuivre pour 500 centimètres cubes. Cette solution renferme 17gr,61 de cuivre par litre. En titrant

notre solution d'hyposulfite par rapport à 10 centimètres cubes de cette solution cuprique, nous versons, par exemple, N centimètres cubes d'hyposulfite, 1 centimètre cube équivaut donc à $\frac{0^{gr},1761}{N}$ de cuivre. Après réduction de la liqueur cupro-potassique par le sucre considéré, nous ne versons plus que n centimètres cubes d'hyposulfite. La quantité de cuivre réduit est donc

$$[N - n] \frac{0,1761}{N} = p.$$

Nous préférons donner les poids de cuivre correspondant au sucre pour éviter de passer par la solution d'hyposulfite, qu'il est difficile de maintenir toujours au même titre.

Ainsi que l'a fait remarquer M. Maquenne, un dixième de centimètre cube de solution d'hyposulfite à 2 °/₀ correspond sensiblement à un tiers de milligramme de glucose. Comme, avec un peu d'habitude, on peut très bien apprécier la fin du dosage à une goutte près, il en résulte que la méthode permet d'évaluer un sixième de milligramme de glucose; si on opère sur $0^{gr},050$, on a une approximation de 1/300.

Établissement des tables

Nous avons dans ce but employé des solutions de sucres réducteurs purs vérifiés par le polarimètre et par la réduction. En opérant avec des solutions sucrées de $0^{gr},05$ à $0^{gr},40$ pour 100 centimètres cubes, nous avons pu calculer le cuivre réduit correspondant. Nous étudierons simultanément le glucose, le lévulose et le sucre interverti, pour lesquels la durée d'ébullition est la même.

Les nombres que nous donnons sont la moyenne de nombreuses déterminations expérimentales corrigées par l'emploi d'une courbe construite de la façon suivante. Pour chaque concentration du liquide sucré, nous avons calculé le rapport du poids de cuivre réduit déterminé expérimentalement au poids de sucre employé. Ce rapport, multiplié par 100, représente ce que nous appellerons *le pouvoir réducteur absolu* du sucre à chaque concentration. On constate que

ces nombres varient; en portant en abcisses les concentrations de sucre et en ordonnées les pouvoirs réducteurs absolus, on obtient une courbe qui, par sa discontinuité, traduit nettement les plus faibles imperfections de dosages. Après rectification de cette courbe des pouvoirs réducteurs absolus, nous avons pu corriger les poids de cuivre réduit correspondant au poids du sucre essayé. Les corrections que nous avons faites sur les poids de cuivre varient de 0gr,0002 à 0gr,0004 et restent toujours inférieures aux différences des déterminations expérimentales.

Le tableau suivant donne les nombres obtenus par cette méthode. Les colonnes VIII et IX représentent les pouvoirs réducteurs relatifs du lévulose et du sucre interverti. Ce sont les rapports des poids de cuivre réduit par le lévulose ou le sucre interverti aux poids de cuivre réduit par le glucose à la même concentration.

Tableau général

SUCRE		CUIVRE RÉDUIT			POUVOIRS RÉDUCTEURS				
					absolus			relatifs	
pour cent	essayé I	par le glucose II	par le lévulose III	par l'interverti IV	Glucose V	Lévulose VI	Interverti VII	Lévulose VIII	Interverti IX
gr	gr	gr	gr	gr					
0,40	0,080	0,147	0,1348	0,1414	183,75	168,5	176,75	0,917	0,962
0,35	0,070	0,1302	0,120	0,1255	186,0	171,43	179,29	0,922	0,964
0,30	0,060	0,1131	0,1038	0,1085	188,5	173,0	180,83	0,918	0,959
0,25	0,050	0,0954	0,0873	0,0911	190,8	174,6	182,2	0,915	0,954
0,20	0,040	0,0771	0,0708	0,0743	192,75	177,0	185,75	0,918	0,964
0,15	0,030	0,0583	0,0539	0,056	194,33	179,63	186,66	0,924	0,961
0,10	0,020	0,0393	0,0363	0,0378	196,5	181,5	189,0	0,924	0,962
0,05	0,010	0,0198	0,0183	0,019	198,0	183	190,0	0,924	0,959

Nous donnons à part les résultats que nous avons obtenus pour le maltose, en partant d'un produit préparé par nous-mêmes. Nous ferons remarquer qu'après des cristallisations très nombreuses dans l'alcool méthylique combinées avec des purifications par reprises dans l'alcool éthylique absolu, nous sommes parvenus à obtenir un produit dont la pureté, calculée par les tables de Wein ou par la formule polarimétrique de Meissl, différait toujours de 4 °/₀. Les

nombres de maltose anhydre que nous donnons sont déduits des tables de Wein.

Remarquons que, d'après notre définition même, nous ne pouvons plus calculer le pouvoir réducteur relatif au delà de la concentration de 0,40 °/₀, à ce moment le chiffre relatif au glucose étant impossible à déterminer, puisque la presque totalité du cuivre est précipitée.

MALTOSE ESSAYÉ	CUIVRE RÉDUIT	POUVOIRS RÉDUCTEURS	
		Absolu	Relatif
—	—	—	—
gr.	gr.		
0,0177	0,0217	122,9	0,630
0,0354	0,0431	121,75	0,628
0,053	0,0636	120	0,631
0,0707	0,0831	117,5	0,631
0,0883	0,1026	116,25	»
0,106	0,1227	115,75	»
0,1236	0,1428	115,5	»
0,1413	0,1628	115,25	»

Nous nous proposons, dans la suite, de revenir sur l'établissement d'une table pour le maltose, quand nous aurons levé les incertitudes que nous avons sur la valeur de notre produit.

Interprétation mathématique des résultats

Nous nous occuperons d'abord du glucose. Si, dans notre tableau général, nous considérons la colonne (V) des pouvoirs réducteurs absolus du glucose, nous constatons que lorsque la concentration du liquide essayé diminue de 0,05 °/₀, le pouvoir réducteur absolu augmente sensiblement de 2. Cette remarque va nous permettre d'établir la relation qui unit la quantité de glucose à la quantité de cuivre réduit en admettant qu'il y ait toujours proportionnalité dans les différents intervalles de concentration : ceci n'est du reste vérifié que dans les limites de concentration du tableau.

Pour la concentration de 0,40 °/₀, le pouvoir absolu est de 183,75

Pour la concentration de 0,05 °/₀, le pouvoir absolu est de 198,00

Pour une diminution de concentration de 0,35 °/₀, le pouvoir réducteur absolu augmente de 14,25

Pour une diminution de concentration de 0,05 °/₀, le pouvoir réducteur absolu augmente de 2,03

Il y a donc sensiblement proportionnalité, puisque cette augmentation de 2,03 se reproduit pour chaque intervalle du tableau. Étendons donc cette propriété à l'intérieur de chacun des intervalles, qui sont d'ailleurs assez rapprochés.

Soit x le poids de glucose, en grammes, contenu dans 20 centimètres cubes du liquide essayé et y le poids, en grammes, correspondant de cuivre réduit : $5\,x$ représente le glucose de 100 centimètres cubes. A la concentration de 0,40 °/₀ le pouvoir réducteur absolu est égal à 183,75 (quantité de cuivre réduit par 100 de sucre). Pour une diminution de 0,35 dans la concentration, l'augmentation du pouvoir réducteur absolu est de 14,25 ; donc, pour une diminution de 1 dans la concentration, l'augmentation du pouvoir réducteur absolu est de $\frac{14,25}{0,35}$ et pour une concentration $5\,x$, comprise entre 0,05 et 0,40, la diminution de concentration étant $0,40 - 5x$, l'augmentation du pouvoir réducteur absolu est de $\frac{14,25\,(0,40-5x)}{0,35}$. Donc, à la concentration $5x$, le pouvoir réducteur absolu est de :

$$183,75 + \frac{14,25\,(0,40-5x)}{0,35};$$

cette expression nous représente, par définition, le cuivre réduit par 100 de sucre à la concentration $5\,x$. Pour 1 de sucre essayé, le poids de cuivre réduit est représenté par l'expression

$$\frac{183,75}{100} + \frac{(0,40-5x)\,14,25}{0,35 \times 100} = \frac{\text{P. R. A.}}{100}.$$

Pour x de sucre le poids de cuivre réduit, que nous avons appelé y, sera

$$y = x\left[\frac{183,75}{100} + \frac{(0,40-5x)\,14,25}{0,35 \times 100}\right].$$

Cette équation nous représente une conique qui est une parabole puisque le terme du second degré de l'équation est carré parfait.

Les calculs effectués, on a la fonction suivante :

$$y = 2,0003\,x - 2,0357\,x^2. \qquad (1)$$

Cette courbe passe par l'origine, son axe est parallèle à l'axe des y.

La tangente à l'origine est la droite représentée par l'équation

$$y = 2{,}0003\,x.$$

Remarquons que pour chaque valeur de y on peut tirer de l'équation deux valeurs positives de x. La plus petite racine convient seule à la portion de la courbe correspondant aux déterminations expérimentales.

Allihn avait exprimé la loi de réduction par la formule suivante :

$$y = \alpha x^2 + \beta x + \gamma.$$

Dans ce cas la parabole ne passe plus par l'origine.

Nous avons déterminé les coefficients α, β, γ pour rechercher l'équation qui nous donnerait les valeurs les plus approchées de nos déterminations expérimentales. Voici la méthode suivie : sachant, comme nous l'avons démontré, que la loi de réduction est représentée par une parabole, les huit déterminations de notre tableau général ci-dessus nous permettent d'écrire huit relations de la forme :

$$0{,}147 = 0{,}0064\alpha + 0{,}080\beta + \gamma.$$

Ces huit équations associées trois à trois représentent cinquante-six systèmes d'équation à trois inconnues (α, β, γ), nombre des combinaisons de huit objets trois à trois. Nous avons cru suffisant de résoudre quatre de ces systèmes convenablement choisis (c'est-à-dire formés par des déterminations assez espacées) et nous avons pris pour α, β, γ, la moyenne arithmétique des quatre valeurs trouvées. Nous avons alors établi l'équation suivante :

$$y = -2{,}37435x^2 + 2{,}04017\,x - 0{,}000734, \qquad (2)$$

équation différente de l'équation (1).

D'après son établissement elle lui est *à priori* préférable et les valeurs de y tirées en fonction d'x doivent se rapprocher davantage



de nos données expérimentales, comme on peut s'en convaincre à l'inspection du tableau ci-dessous.

SUCRE ESSAYÉ	CUIVRE RÉDUIT DÉTERMINÉ		
	par expérience	par équation I	par équation II
gr.	gr.	gr.	gr.
0,080	0,147	0,147	0,1473
0,070	0,1302	0,130	0,1304
0,060	0,1131	0,1127	0,1131
0,050	0,0954	0,0949	0,0953
0,040	0,0771	0,0768	0,0771
0,030	0,0583	0,0582	0,0583
0,020	0,0393	0,0392	0,0391
0,010	0,0198	0,0198	0,0194

Dans la pratique, pour établir une table, il suffirait donc de faire trois déterminations expérimentales assez éloignées. On calculerait α, β, γ et, à l'aide de l'équation formée, on aurait les valeurs intermédiaires du tableau. Plusieurs déterminations expérimentales permettraient ensuite de contrôler l'exactitude de la formule.

La deuxième équation que nous venons d'établir peut se rapprocher de celle d'Allihn. En effet, en prenant le gramme pour unité cette dernière peut s'écrire :

$$y = -0{,}7576x^2 + 2{,}0522x - 0{,}0025647.$$

Cette formule a été établie en opérant avec 30 centimètres cubes de solution blanche, 30 centimètres cubes de solution bleue, 25 centimètres cubes de solution sucrée et 60 centimètres cubes d'eau. Si nous la comparons à notre équation (2) nous remarquerons que le coefficient d'x (β) diffère peu du nôtre, α celui d'x^2 est sensiblement le tiers du nôtre et γ (le terme constant) est à peu près le triple de celui de notre équation. Nous avons cherché s'il n'y avait pas là une relation. On peut d'abord remarquer que nous employons, dans nos déterminations, trois fois moins de réactifs qu'Allihn. Nous avons alors fait des dosages en doublant, en triplant nos solutions cuprique et sucrée sans en changer la concentration. Dans ces conditions nous avons constaté que, pour une concentration donnée de la liqueur sucrée, le pouvoir réducteur absolu du sucre restait sensiblement

constant quand on doublait ou triplait les volumes de liqueurs cuprique et sucrée.

Interprétons ce fait analytiquement :

Dans le premier cas où nous employons 10 centimètres cubes de liqueur bleue, 10 centimètres cubes de liqueur blanche et 20 centimètres cubes de solution sucrée, la réduction s'opère d'après la formule suivante :

$$y = \alpha x^2 + \beta x + \gamma.$$

Dans le second et le troisième cas, d'une façon générale, si on emploie n fois le volume initial de solutions cuprique et sucrée, on a, puisque le cuivre précipité par nx de glucose essayé est ny (le pouvoir réducteur absolu restant le même, la loi de réduction étant toujours représentée par une parabole) :

$$ny = \alpha' n^2 x^2 + \beta' nx + \gamma'.$$

Multiplions notre première relation par n, il vient :

$$ny = \alpha n x^2 + \beta n x + \gamma n.$$

D'où

$$\alpha' n^2 x^2 + \beta' nx + \gamma' \equiv \alpha n x^2 + \beta n x^2 + \gamma n.$$

Ceci quel que soit x dans l'intervalle 0 à 0gr,080. Donc

$$\begin{array}{ll} \alpha' n^2 = \alpha n & \alpha' = \frac{\alpha}{n} \\ \beta' n = \beta n & \beta' = \beta \\ \gamma' = \gamma n & \gamma' = \gamma n. \end{array}$$

Si $n = 3$, ce qui est le cas des déterminations d'Allihn, on a l'équation

$$y = \frac{\alpha}{3} x^2 + \beta x + 3\gamma.$$

Comme nous l'avons vu plus haut, notre formule traitée de cette manière nous redonne la formule d'Allihn aux différences d'expérience près : du reste, sa dilution n'est pas tout à fait la nôtre. Le volume total de ses liqueurs au lieu d'être égal à 120 centimètres cubes (comme l'exige notre raisonnement) est de 145 centimètres cubes. La propriété n'en existe pas moins.

On peut traduire ce qui précède en disant que ces paraboles coupent respectivement l'axe des y aux points $y=\gamma$, $y=3\gamma$. En ces points leurs tangentes sont parallèles. De plus leurs paramètres sont respectivement $p=\frac{1}{2\alpha}$, $p'=\frac{3}{2\alpha}$. La parabole d'Allihn aurait donc un paramètre triple de la nôtre. On peut remarquer que plus les quantités de liqueurs augmentent, plus le paramètre augmente. Si nous supposons que toutes ces paraboles soient transportées à l'origine, elles y auront toutes une même tangente commune, et pour des quantités de liqueurs infinies la loi de réduction serait représentée par cette tangente

$$y=\beta x.$$

Dans ce cas seulement le poids de cuivre précipité serait donc proportionnel au poids du sucre employé. On voit par ce qui précède qu'il est d'autant plus nécessaire de se servir de tables, pour la détermination quantitative des sucres, qu'on opère sur des volumes plus faibles de liqueurs.

Nous avons tenu à mettre ces propriétés en évidence pour bien faire saisir la différence qui existe entre la formule d'Allihn et la nôtre.

Nous avons calculé avec notre équation (2) les poids de cuivre correspondant à des poids connus de glucose, de milligramme en milligramme. Nous donnons cette table avec les calculs d'interpolations qui permettront de calculer de suite les valeurs intermédiaires.

Lévulose et sucre interverti

Nous avons aussi cherché une expression analytique pour exprimer la loi de réduction pour le lévulose et le sucre interverti. Nous aurions pu procéder comme pour le glucose, mais la méthode était trop longue. Nous avons préféré utiliser une propriété qui ressort de notre tableau général. En effet, si nous considérons les colonnes VIII et IX qui expriment les pouvoirs réducteurs relatifs du lévulose et du sucre interverti, nous constatons que ces nombres sont sensiblement indépendants de la concentration du liquide sucré ; la moyenne

est de 0,920 pour le lévulose et de 0,960 pour le sucre interverti. Nous en concluons que les courbes représentatives des poids de cuivre réduit en fonction des poids de sucre sont des courbes dont toutes les ordonnées sont égales aux ordonnées correspondantes de la parabole du glucose multipliées par 0,920 pour le lévulose et 0,960 pour le sucre interverti; ces courbes qui sont semblables sont donc des paraboles. Cherchons leurs équations

Pour le glucose nous avons

$$y = \alpha x^2 + \beta x + \gamma;$$

pour l'un quelconque de nos sucres considérés :

$$y' = \alpha' x^2 + \beta' x + \gamma',$$

la quantité x des deux sucres employés étant la même.

Or, d'après ce que nous avons fait remarquer, on a, quel que soit x,

$$\frac{y'}{y} = \frac{\alpha' x^2 + \beta' x + \gamma'}{\alpha x^2 + \beta x + \gamma} \equiv \mathrm{P},$$

(P représentant le pouvoir réducteur relatif du sucre réducteur considéré).

D'où

$$x^2[\alpha' - \alpha\mathrm{P}] + x[\beta' - \beta\mathrm{P}] + \gamma' - \gamma\mathrm{P} \equiv 0;$$

d'où

$$\begin{array}{ll} \alpha' - \alpha\mathrm{P} = 0 & \alpha' = \alpha\mathrm{P} \\ \beta' - \beta\mathrm{P} = 0 & \beta' = \beta\mathrm{P} \\ \gamma' - \gamma\mathrm{P} = 0 & \gamma' = \gamma\mathrm{P}. \end{array}$$

Les coefficients de l'équation de notre nouvelle parabole sont donc égaux aux coefficients de l'équation de la parabole du glucose multipliés par le pouvoir réducteur relatif du sucre considéré.

Nous avons les formules suivantes :

Pour le lévulose :

$$y = -2{,}1844x^2 + 1{,}8769x - 0{,}0006753;$$

Pour le sucre interverti :

$$y = -2{,}27938x^2 + 1{,}9585x - 0{,}0007046.$$

Une quelconque de ces paraboles est telle que son paramètre est

Table pour le glucose (DT représente la différence tabulaire)

SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations		SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations		SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations	
4	7,4		DT = 2		31	60,2	1,9			57	107,8	1,7	DT = 1,7	
5	9,4	2,0	0,1	0,05	32	62,1	1,9			58	109,6	1,8	0,1	0,059
6	11,4	2	0,2	0,1	33	64,0	1,9			59	111,4	1,8	0,2	0,12
7	13,4	2	0,3	0,15	34	65,9	1,9			60	113,1	1,7	0,3	0,18
8	15,4	2	0,4	0,20	35	67,8	1,9			61	114,9	1,8	0,4	0,24
9	17,4	2	0,5	0,25	36	69,6	1,8			62	116,6	1,7	0,5	0,29
10	19,4	2	0,6	0,30	37	71,5	1,9			63	118,4	1,8	0,6	0,35
11	21,4	2	0,7	0,35	38	73,3	1,8			64	120,1	1,7	0,7	0,41
12	23,4	2	0,8	0,40	39	75,2	1,9			65	121,8	1,7	0,8	0,47
13	25,4	2	0,9	0,45	40	77,1	1,9			66	123,6	1,8	0,9	0,52
14	27,3	1,9	1,0	0,50	41	78,9	1,8	D = 1,8		67	125,3	1,8	1,0	0,59
15	29,3	2	DT = 1,9		42	80,8	1,9	0,1	0,055	68	127,0	1,7		
16	31,2	1,9	0,1	0,05263	43	82,6	1,8	0,2	0,11	69	128,7	1,7	DT = 1,6	
17	33,2	2	0,2	0,10	44	84,4	1,8	0,3	0,17	70	130,4	1,7	0,1	0,0625
18	35,2	2	0,3	0,16	45	86,3	1,9	0,4	0,22	71	132,1	1,7	0,2	0,12
19	37,1	1,9	0,4	0,21	46	88,1	1,8	0,5	0,28	72	133,8	1,7	0,3	0,19
20	39,1	2	0,5	0,26	47	89,9	1,8	0,6	0,33	73	135,5	1,7	0,4	0,25
21	41,1	2	0,6	0,31	48	91,7	1,8	0,7	0,39	74	137,2	1,7	0,5	0,31
22	43,0	1,9	0,7	0,37	49	93,5	1,8	0,8	0,44	75	138,9	1,7	0,6	0,37
23	44,9	1,9	0,8	0,42	50	95,3	1,8	0,9	0,50	76	140,6	1,7	0,7	0,44
24	46,9	2	0,9	0,47	51	97,1	1,8	1,0	0,55	77	142,3	1,7	0,8	0,50
25	48,8	1	1,0	0,526	52	98,9	1,8			78	143,9	1,6	0,9	0,56
26	50,7	1,9			53	100,7	1,8			79	145,6	1,7	1,0	0,62
27	52,6	1,9			54	102,5	1,8			80	147,3	1,7		
28	54,5	1,9			55	104,3	1,8			81	148,9	1,6		
29	56,4	1,9			56	106,1	1,8			82	150,6	1,7		
30	58,3	1,9												

Table pour le lévulose

SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations		SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations		SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations	
4	6,8				31	55,4	1,7			57	99,2	1,6		
5	8,7	1,9			32	57,1	1,7			58	100,8	1,6		
6	10,5	1,8	DT = 1,9		33	58,9	1,8			59	102,5	1,7		
7	12,3	1,8	0,1	0,05263	34	60,6	1,7	DT = 1,7		60	104,1	1,6		
8	14,2	1,9	0,2	0,10	35	62,4	1,8	0,1	0,059	61	105,7	1,6		
9	16,0	1,8	0,3	0,16	36	64,0	1,6	0,2	0,12	62	107,3	1,6		
10	17,9	1,9	0,4	0,21	37	65,8	1,8	0,3	0,18	63	108,9	1,6		
11	19,7	1,8	0,5	0,26	38	67,4	1,6	0,4	0,24	64	110,5	1,6	DT = 1,5	
12	21,5	1,8	0,6	0,31	39	69,2	1,8	0,5	0,29	65	112,1	1,6	0,1	0,066
13	23,4	1,9	0,7	0,37	40	70,9	1,7	0,6	0,35	66	113,7	1,6	0,2	0,13
14	25,2	1,8	0,8	0,42	41	72,6	1,7	0,7	0,41	67	115,3	1,6	0,3	0,20
15	27,0	1.9	0,9	0,47	42	74,3	1,7	0,8	0,47	68	116,8	1,5	0,4	0,26
16	28,8	1,8	1,0	0,526	43	76,0	1,7	0,9	0,52	69	118,4	1,6	0,5	0,33
17	30,6	1,8			44	77,6	1,6	1,0	0,59	70	120,0	1,6	0,6	0,40
18	32,4	1,8	DT = 1,8		45	79,4	1,8			71	121,5	1,5	0,7	0,46
19	34,1	1,7	0,1	0,055	46	81,1	1,7	DT = 1,6		72	123,1	1,6	0,8	0,53
20	36,0	1,9	0,2	0,11	47	82,7	1,7	0,1	0,0625	73	124,7	1,6	0,9	0,59
21	37,8	1,8	0,3	0,17	48	84,4	1,6	0,2	0,12	74	126,2	1,5	1,0	0,66
22	39,6	1,8	0,4	0,22	49	86,0	1,7	0,3	0,19	75	127,8	1,6		
23	41,3	1,7	0,5	0,28	50	87,7	1,7	0,4	0,25	76	129,3	1,5		
24	43,1	1,8	0,6	0,33	51	89,3	1,6	0,5	0,31	77	130,9	1,6		
25	44,9	1,8	0,7	0,39	52	91,0	1,7	0,6	0,37	78	132,4	1,5		
26	46,6	1,7	0,8	0,44	53	92,6	1,6	0,7	0,44	79	133,9	1,5		
27	48,4	1,8	0,9	0,50	54	94,3	1,7	0,8	0,50	80	135,5	1,6		
28	50,1	1,7	1,0	0,55	55	96,0	1,7	0,9	0,56	81	137,0	1,5		
29	51,9	1,8			56	97,6	1,6	1,0	0,62	82	138,5	1,5		
30	53,7	1,8												

Table pour le sucre interverti

SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolat'ons		SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations		SUCRE en milli-grammes	CUIVRE en milli-grammes	D T	CALCULS d'interpolations	
4	7,1				31	57,8	1,8			57	103,5	1,6		
5	9,0	1,9	DT = 1,9		32	59,6	1,8			58	105,2	1,8		
6	10,9	1,9	0,1	0,05263	33	61,4	1,8			59	106,9	1,7		
7	12,9	2,0	0,2	0,10	34	63,3	1,9	DT = 1,7		60	108,6	1,7		
8	14,8	1,9	0,3	0,16	35	65,1	1,8	0,1	0,059	61	110,3	1,7		
9	16,7	1,9	0,4	0,21	36	66,8	1,7	0,2	0,12	62	111,9	1,6		
10	18,6	1,9	0,5	0,26	37	68,6	1,8	0,3	0,18	63	113,7	1,8		
11	20,5	1,9	0,6	0,31	38	70,3	1,7	0,4	0,24	64	115,3	1,6		
12	22,5	2,0	0,7	0,37	39	72,2	1,9	0,5	0,29	65	116,9	1,6		
13	24,4	1,9	0,8	0,42	40	74,0	1,8	0,6	0,35	66	118,7	1,8		
14	26,2	1,8	0,9	0,47	41	75,7	1,7	0,7	0,41	67	120,3	1,6		
15	28,1	1,9	1,0	0,526	42	77,6	1,9	0,8	0,47	68	121,9	1,6		
16	30,0	1,9			43	79,3	1,7	0,9	0,52	69	123,5	1,6	DT = 1,5	
17	31,9	1,9	DT = 1,8		44	81,0	1,7	1,0	0,59	70	125,2	1,7	0,1	0,066
18	33,8	1,9	0,1	0,055	45	82,8	1,8			71	126,8	1,6	0,2	0,13
19	35,6	1,8	0,2	0,11	46	84,6	1,8	DT = 1,6		72	128,4	1,6	0,3	0,20
20	37,5	1,9	0,3	0,17	47	86,3	1,7	0,1	0,0625	73	130,1	1,7	0,4	0,26
21	39,4	1,9	0,4	0,22	48	88,0	1,7	0,2	0,12	74	131,7	1,6	0,5	0,33
22	41,3	1,9	0,5	0,28	49	89,8	1,8	0,3	0,19	75	133,3	1,6	0,6	0,40
23	43,1	1,8	0,6	0,33	50	91,5	1,7	0,4	0,25	76	135,0	1,7	0,7	0,46
24	45,0	1,9	0,7	0,39	51	93,2	1,7	0,5	0,31	77	136,6	1,6	0,8	0,53
25	46,8	1,8	0,8	0,44	52	94,9	1,7	0,6	0,37	78	138,1	1,5	0,9	0,59
26	48,7	1,9	0,9	0,50	53	96,7	1,8	0,7	0,44	79	139,8	1,7	1,0	0,66
27	50,5	1,8	1,0	0,55	54	98,4	1,7	0,8	0,50	80	141,4	1,6		
28	52,3	1,8			55	100,1	1,7	0,9	0,56	81	142,9	1,5		
29	54,1	1,8			56	101,9	1,8	1,0	0,62	82	144,6	1,7		
30	56,0	1,9												

égal à celui de la parabole du glucose divisé par le pouvoir réducteur relatif du sucre auquel elle se rapporte.

De plus, les coefficients angulaires des tangentes aux points $y = \gamma$ où ces courbes coupent l'axe des y sont égaux au coefficient angulaire de la tangente analogue de la parabole du glucose, multiplié respectivement par les pouvoirs réducteurs relatifs du lévulose et du sucre interverti.

Nous donnons dans le tableau ci-dessous les nombres calculés par ces deux nouvelles formules et nous les comparons à ceux trouvés expérimentalement.

SUCRE ESSAYÉ	CUIVRE RÉDUIT par le lévulose		CUIVRE RÉDUIT par le sucre interverti	
	Trouvé	Calculé	Trouvé	Calculé
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
0,080	0,1348	0,1355	0,1414	0,1414
0,070	0,120	0,120	0,1255	0,1250
0,060	0,1038	0,1041	0,1085	0,1086
0,050	0,0873	0,0877	0,0911	0,0915
0,040	0,0708	0,0709	0,0743	0,0740
0,030	0,0539	0,0537	0,0560	0,0560
0,020	0,0363	0,036	0,0378	0,0376
0,010	0,0183	0,0179	0,0190	0,0187

Nous remarquons que les poids de cuivre calculés par nos deux formules sont égaux en plusieurs points à ceux déterminés par l'expérience. On peut donc admettre l'exactitude de ces deux formules et calculer deux tables analogues à celle du glucose. Ce sont d'ailleurs les nombres de cette dernière qui ont été multipliés par les pouvoirs réducteurs relatifs. Nous donnons ces deux tables pour éviter tout calcul.

En résumé, pour rendre plus courant l'emploi de la méthode de Lehmann, qui est sensible et précise, nous proposons l'usage de nos tables construites pour le glucose, le lévulose et le sucre interverti.

Nous faisons remarquer, en terminant, qu'elles ne donneront des renseignements précis qu'autant qu'on se placera dans des conditions identiques à celles dans lesquelles elles ont été établies.

ALIMENTATION RATIONNELLE

DE LA VACHE LAITIÈRE

CONTROLE DE SON RENDEMENT [1]

I. — A quelles influences la production laitière est-elle soumise ?

Il n'est pas toujours exact de considérer l'alimentation comme le principal moyen de perfectionnement dont dispose l'agriculteur pour exploiter rationnellement le bétail. *En ce qui concerne tout spécialement la vache laitière, on doit, en effet, se préoccuper, tout d'abord, de l'individualité, de la race et des variations de la sécrétion lactée.* Ce sont là, conclut O. Kellner, avec l'autorité que l'on sait, dans son dernier et magistral ouvrage sur l'alimentation du bétail, les facteurs qui influent certainement en premier lieu sur la production laitière. *Quant à l'apport alimentaire, son effet est plutôt secondaire.*

Les écarts de production ou de teneur du lait en ses principes normaux sont dus bien plus aux aptitudes ethnographiques et individuelles et aux variations normales de la lactation chez le même individu qu'au régime. Celui-ci modifie non pas le pourcentage des composants du lait, mais parfois la composition de certains de ces principes, des matières grasses, tout particulièrement, dont la

1. Communication lue au congrès de laiterie de 1905, par J. Alquier, ingénieur-agronome, expert près les tribunaux de la Seine, attaché au laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voitures.

valeur au point de vue de la fabrication et de la qualité du beurre se trouve ainsi sujette à de petites variations. On a, par exemple, remarqué que le passage du pâturage à la stabulation, de même que certains changements d'alimentation influent sur le taux des acides gras volatils et sur le point de fusion du beurre. Mais ce sont là des conséquences du changement de régime qui, dans la pratique, ne constituent pas une amélioration très digne d'intérêt. En présence de ces faits sans cesse confirmés, il faut logiquement reconnaître que, pour produire rationnellement du lait, il n'est pas nécessaire de se préoccuper outre mesure du choix des aliments.

II. — Des progrès à réaliser dans le rationnement de la vache laitière

Est-ce à dire que, dans ce cas, l'alimentation ne mérite pas toute l'attention de l'agriculteur ? Non, certes. Son influence cesse en effet d'être secondaire dès que la ration n'est pas judicieusement établie. L'alimentation irraisonnée donne lieu aux plus graves mécomptes. Il importe que *la vache reçoive exactement ce dont elle a besoin pour s'entretenir et satisfaire à la production maxima possible au moment considéré.*

Aussi sa ration doit-elle être calculée bien plus rigoureusement que celle de n'importe lequel des autres animaux mis en exploitation.

Dans la pratique, en est-il toujours ainsi ? Fort souvent la ration est *en réalité insuffisante,* principalement en matières albuminoïdes et minérales que le lait exporte par grandes quantités, et cela bien que l'animal soit *abondamment nourri en apparence.* Il est malheureusement de règle dans les campagnes que la vache doit se contenter des fourrages les plus grossiers et les moins riches récoltés à la ferme, alors que l'emploi des aliments concentrés du commerce s'impose dans la plupart des cas pour parfaire la quantité nécessaire de principes nutritifs azotés et minéraux. Qu'en résulte-t-il ? L'animal ne produit pas ce qu'il devrait. La période de lactation active et régulière diminue de durée. Mais peu importe à celui qui ne comprend pas qu'une dépense supplémentaire peut rapporter dans la

suite, et puis, comme dit le proverbe, « Vache de loin a assez de lait ». Le mauvais rendement n'est du reste qu'un inconvénient minime à côté des conséquences de l'état d'épuisement auquel en arrive l'animal dont la production n'est plus proportionnée à la recette alimentaire. La vache insuffisamment nourrie prend sur sa propre substance, afin de maintenir au lait sa teneur en azote et en matières minérales. Le muscle proprement dit fond, le sang s'appauvrit au détriment de la santé et le terrain se trouve finalement on ne peut mieux préparé pour les maladies infectieuses. Il est certain qu'*on réaliserait dans la prophylaxie de la tuberculose un progrès considérable, si l'on songeait à prévenir le mal en signalant aux intéressés les animaux insuffisamment nourris*. Est-ce d'un bon calcul de n'intervenir que pour enrayer la contagion ?

Que se passe-t-il dans le cas contraire, lorsque *la vache reçoit plus qu'il n'est nécessaire* pour subvenir au rendement maximum que comportent son individualité et l'activité de ses mamelles au moment considéré ? Outre que, d'une façon générale, tout apport alimentaire trop abondant constitue une dépense inutile, le superflu, dans le cas particulier de la vache laitière, présente de sérieux inconvénients. L'animal engraisse ; or, l'on a constaté que l'embonpoint est défavorable à la production du lait, à la qualité des veaux et, de plus, que la vache grasse est prédisposée aux accidents lors du part.

Nous sommes suffisamment fixés sur les dangers d'une nourriture insuffisante ou surabondante. Les conclusions pratiques à tirer de ces premières notions fondamentales sur l'alimentation de la vache laitière sont les suivantes :

1° *La ration, en théorie, doit être suffisante pour couvrir exactement les dépenses maxima de l'animal au moment considéré. Il est prudent, dans la pratique, de la donner légèrement copieuse, mais pas au point cependant de provoquer un engraissement notable ;*

2° *En présence du peu d'influence du régime sur la quantité et la qualité d'une production normale* et nullement exagérée intentionnellement (régime aqueux intensif), *il suffit de se laisser guider uniquement dans le choix des aliments par la valeur nutritive et économique de ces derniers, et, à valeur égale, par leurs propriétés appétentes et condimentaires*. Les distinctions que l'on a voulu faire

entre les terres à fromage et les terres à beurre, de même que les classifications des fourrages d'après leurs qualités lactogènes, ne peuvent qu'être artificielles.

Nous basant maintenant sur ce que l'apport alimentaire est suffisant, quand on le proportionne à la dépense actuelle de l'animal, ainsi que nous venons de le dire en d'autres termes, nous allons établir aisément qu'il est nécessaire de calculer séparément la ration de chaque animal. Opérer autrement reviendrait à nier les influences qui, en l'état actuel de nos connaissances raisonnées, agissent certainement avant toutes les autres sur la production laitière. Les différences de race et d'individualité, dont les effets aboutissent à constituer la spécialité de la production particulière à chaque animal, ne seraient en effet que des mots, contrairement aux croyances et aux constatations des praticiens eux-mêmes, si toutes les bêtes laitières transformaient de même les fourrages. Les quantités d'aliments ingérés par deux vaches, fussent-elles du même poids, sont très rarement entre elles dans le même rapport que les volumes de lait ou les poids de beurre produits par ces deux vaches. Généralement, l'une d'elles utilise les aliments mieux que l'autre. Aussi est-il logique que le rationnement de la vache soit individuel, d'où cette conséquence que chaque animal doit être mis à l'étable dans l'impossibilité de toucher à la ration de ses voisins. . . . .

Si nous faisons maintenant intervenir l'influence des variations normales de la sécrétion, susceptibles d'agir sur la production autant que la race et l'individualité, nous nous rendons compte que le rationnement doit en outre varier comme l'activité fonctionnelle de la mamelle. L'apport alimentaire cesserait d'être un contrepoids de la dépense, aussi parfaitement équilibré qu'il est nécessaire, s'il restait le même depuis le début de la lactation, alors que la sécrétion est maxima, jusqu'au moment où le rendement devient par trop inférieur pour être productif. Ces considérations *condamnent le système si souvent appliqué de la ration moyenne calculée pour un rendement moyen et distribuée sans distinction à toutes les laitières d'une même exploitation*. Il est impossible que de la sorte on n'arrive pas fatalement aux rationnements insuffisants ou surabondants précédemment critiqués.

Aux règles générales déjà formulées nous allons donc ajouter les suivantes dont l'importance n'est pas moindre :

1° *Le rationnement de la vache laitière doit être individuel ;*

2° *La valeur nutritive de la ration individuelle doit varier avec le rendement, chaque période de lactation exigeant pour une vache donnée un apport alimentaire différent.*

Voici par exemple deux rations composées des mêmes aliments et proportionnées aux quantités de lait produites. Un apport d'au moins 90 grammes d'albuminoïdes digestibles par kilogramme de lait obtenu étant en général nécessaire, il s'ensuit que la *relation nutritive de la ration de la vache laitière doit être d'autant plus large que le rendement est plus élevé et, de plus, qu'il est impossible d'établir une ration suffisante pour équilibrer les dépenses d'un grand rendement sans recourir aux aliments concentrés, riches en matières azotées.*

	POUR UNE PRODUCTION DE LAIT	
	A de 15 kilogr.	B de 10 kilogr.
Tourteau de colza	0,500	0,500
— de coton	1,500	0,500
— de tournesol	1,000	0,500
Blé	1,500	1,000
Betteraves fourragères	10,000	10,000
Foin	3,000	3,000
Paille	5,000	6,000
Teneur de la ration en principes nutritifs digestibles — Matières azotées	1,514	0,941
— — grasses	0,417	0,238
— — hydrocarbonées	5,089	5,344
Sommes des principes nutritifs digestibles (¹)	8,093	6,845
Relation nutritive: Matières azotées digestibles / — non azotées digestibles	1/4,3	1/6,2

Ce ne sont pas là des données quelconques, mais des types de rations résultant d'expériences faites en Danemark et reconnues suffisantes par une longue pratique. Nous ne discuterons pas hypothétiquement en raisonnant sur ce tableau comparatif.

1. Les matières grasses ont été multipliées par 2, 4 pour être transformées en hydrocarbonés.

Considérons deux vaches adultes de même taille, de même poids vif, donnant l'une 15 kilogr. de lait, par transformation de la ration A, et l'autre 10 kilogr. seulement, en échange de la ration B. Ces deux rations sont théoriquement et pratiquement suffisantes, nous le savons, c'est-à-dire que, dans les deux cas, elles permettent à l'animal de s'entretenir et de produire les poids du lait indiqués. La quantité de principes nutritifs digestibles nécessaires au simple entretien du corps est la même ou à peu près pour ces deux vaches, du même poids. Supposons-la de 4^{kg},400, afin de fixer les idées. La partie productive de la ration, celle qui pourra être convertie en lait, sera alors pour la vache A de (8^{kg},093 — 4^{kg},4) = 3^{kg},69 et, pour la seconde, de (6^{kg},84 — 4^{kg},4) = 2^{kg},44. Comme l'utilisation de l'apport alimentaire, en vue d'une production quelconque, est de toute évidence proportionnelle au rapport de la partie productive de la ration (ration totale moins la ration d'entretien) à la ration totale [1], les coefficients d'utilisation seront ici de :

Pour la vache A fournissant 15 kilogr. de lait . $\frac{3^{kg},69}{8\ \ ,09} = 0,45.$

Pour la vache B fournissant 10 kilogr. de lait . $\frac{2^{kg},44}{6\ \ ,84} = 0,35.$

Le coefficient de la vache A dépasse celui de la vache B et la différence serait encore plus grande si la vache A, la meilleure laitière des deux, produisait plus de lait et recevait, par conséquent, une ration encore plus forte. Inutile de le démontrer.

Cette discussion n'était pas inutile. Elle nous conduit à formuler un principe qui semble pouvoir servir de base fondamentale à la production rémunératrice du lait :

L'utilisation des aliments par la vache laitière, nourrie rationnellement, c'est-à-dire conformément aux règles précédemment énoncées, *est d'autant plus élevée que la vache est meilleure laitière,* ou, en d'autres termes, rendue plus apte à la production maxima par sa race et son individualité.

---

1. Nous parlons ici de rations digestibles (rations totales ou d'entretien ou de production).

III. — Contrôle rationnel du rendement de la vache

La tactique du producteur de lait doit par conséquent se borner exclusivement au choix judicieux de son bétail et à l'élimination de tous les animaux à faible rendement. Comment distinguer la bonne laitière ou la bonne beurrière? Il n'existe qu'un moyen, enseigne-t-on communément. C'est *l'inspection de l'extérieur de l'animal.* Pour l'œil exercé, l'aptitude à la production serait donc chose apparente. Sans vouloir retirer toute compétence et toute perspicacité aux partisans convaincus des sélections opérées d'après les caractères extérieurs et sans nier pour cela les relations qui existent certainement entre la conformation de l'animal, la beauté des pis, le développement des écussons, l'abondance des sécrétions, la couleur des muqueuses, la finesse de la peau, etc., etc., et les qualités laitières, il semble difficile d'admettre que tout le monde voit et, surtout, conclut de même sur ces différents points. Les discussions auxquelles donne lieu chaque jour la méthode des caractères extérieurs ne suffisent-elles pas du reste à démontrer qu'elle a des *incertitudes?*

Il existe un système qui permet de déceler au contraire avec *certitude* les bonnes laitières : c'est celui qui consiste à *contrôler* la production du lait comme on doit suivre toute entreprise industrielle, c'est-à-dire en enregistrant la qualité, la quantité, la valeur économique d'une part des matières premières à transformer et, d'autre part, des produits résultant de cette transformation. *Le contrôle laitier doit par conséquent porter simultanément sur l'apport alimentaire et sur le rendement brut total du lait, avec examen de la qualité de ce dernier.* Inutile d'ajouter que l'influence indéniable de l'individualité et des variations de la lactation exige que ce contrôle soit *individuel et continu.*

En ce qui concerne l'apport alimentaire, si l'on remarque que la même somme de principes nutritifs peut être donnée sous des formes variées, on entrevoit de suite la nécessité de l'exprimer, lors de sa détermination, en unités de même nature, quelles que soient la qualité et la quantité des composants de la ration. Faute de quoi il deviendrait tout à fait impossible de comparer utilement les divers

rendements d'une même vache ou d'un troupeau nourris suffisamment, cela va de soi, mais au moyen d'aliments différents et par conséquent d'une valeur alimentaire très différente.

Le point délicat n'est pas de choisir l'unité nutritive, car il suffit de convenir qu'elle est par exemple équivalente à 1 kilogr. de son de blé. La difficulté consiste à passer des aliments usuels du bétail à l'aliment étalon, ce qui exige l'établissement des poids des divers aliments qui, introduits dans la ration de la vache laitière, ont la même valeur physiologique ou, en termes plus simples, la même aptitude à se transformer en un même poids de lait. Nous n'avons pas à exposer ici les différentes méthodes de comparaison des aliments, il nous suffit de savoir que l'on possède déjà de nombreuses données sur l'alimentation de la vache laitière. Le tableau suivant nous le prouve amplement.

Poids équivalents suivant lesquels les aliments doivent se substituer dans la ration de la vache laitière, pour ne pas modifier le rendement.

Tourteau de coton décortiqué	0^{kg},700
— d'arachides décortiqués	0 ,700
— de sésame	0 ,700
— de palme	0 ,750
— de lin	0 ,750
— de tournesol	0 ,750
Blé	1 ,000
Son de blé	1 ,000
Seigle	1 ,000
Son de seigle	1 ,000
Maïs	1 ,000
Grains mélangés	1 ,000
Farine de riz	1 ,000
Tourteau de cocos	1 ,000
— de colza	1 ,000
Farine de palme mélassée	1 ,000
Radicelles d'orge	1 ,000
Drèches de brasserie sèches	1 ,000
Drèches de distillerie sèches	1 ,000
Cossettes sèches de betteraves	1 ,250
Mélasse	2 ,000
Foin de trèfle	2 ,000
Lait complet (1)	2 ,000

1. Suivant la qualité.

Foin de prairie (¹).	2,5 à	4kg,000
Pommes de terre		4 ,000
Paille (¹).	5 à	6 ,000
Lait écrémé		6 ,000
Carottes (¹)	7 à	8 ,000
Fourrages verts (¹).	8 à	10 ,000
Betteraves fourragères		10 ,000
Navets et turneps.		12 ,000
Petit-lait		12 ,000
Feuilles de betteraves		15 ,000
Cossettes de betteraves humides . . .		15 ,000

Deux à quatre heures de pâturage (¹).

Sans doute il n'a jamais été dans la pensée de ceux qui, grâce à une longue et patiente collaboration, sont parvenus à dresser de semblables échelles de comparaison qu'il fallait reconnaître à ces chiffres une valeur immuable. L'uniformité absolue d'utilisation des aliments est théoriquement impossible avec l'individualité, nous le savons, mais enfin de ce qu'une formule n'a pas la généralité d'une loi, il ne s'ensuit nullement qu'elle ne puisse guider ceux qui l'appliquent avec intelligence, surtout lorsqu'elle est le résultat moyen de multiples expériences pratiques et de laboratoire. Cette réserve faite, nous pouvons, en l'état actuel de nos connaissances, nous considérer sans arrière-pensée comme suffisamment documentés pour apprécier avec une approximation suffisante et comparer utilement entre elles les valeurs nutritives des rations les plus diverses que l'on peut donner à la vache laitière.

Passons aux *sorties* à inscrire vis-à-vis des *entrées*, exprimées en bloc suivant la méthode que nous venons d'indiquer. Le contrôle est ici des plus simples. Il consiste à mesurer ou mieux à peser la totalité du lait produit et à en déterminer, par l'analyse, la qualité la plus intéressante au point de vue de la production cherchée. Celle-ci étant généralement le beurre, le taux de matières grasses du lait multiplié par le rendement brut total en lait donne les renseignements les plus précis à ce sujet. S'il s'agissait de la production du fromage, on aurait également à suivre la marche de la coagulation du lait, les

1. Suivant la qualité.

qualités physiques et le poids du coagulum, etc... Est-il utile d'ajouter qu'il serait irrationnel de déduire la production de beurre de la quantité de lait produit au moyen d'un coefficient uniforme, puisque le rendement du lait en beurre dépend, avant tout, de la race et des qualités individuelles de la vache ?

On comprend maintenant pourquoi nous affirmions précédemment que le contrôle rationnel de la production laitière, c'est-à-dire la détermination exacte des rendements individuels et annuels en lait et en beurre, jointe à l'établissement du rapport de ces rendements à la valeur nutritive des fourrages ingérés, constitue le moyen de perfectionnement le plus infaillible dont dispose l'agriculteur pour exploiter avantageusement la vache laitière. Ce contrôle conduit en effet graduellement, mais sûrement :

1° *A la constitution d'étables uniquement composées de vaches bonnes laitières ou beurrières,* d'un bon rapport par conséquent ;

2° *A l'amélioration de la race par sélection des reproducteurs,* puisque les aptitudes à la production laitière semblent être transmissibles aux descendants, non seulement par les mères à grands rendements, mais par les taureaux qui les tiennent de leurs ascendants.

IV. — Sociétés de contrôle de la production laitière

Bien que relativement très simple en principe, le contrôle de la production du lait, dont nous venons de poser les bases, n'est cependant pas à la portée de toutes les bonnes volontés. La transformation des aliments en unités nutritives, même simplifiée par des barèmes, nécessite toujours quelques calculs. Pour connaître le rendement total de lait, d'autres difficultés d'exécution surgissent : on ne peut le déterminer sans traire chaque vache plusieurs fois dans la journée et sans peser chaque traite comme du reste tous les composants de la ration. Or, la balance confiée à des mains inhabiles cesse le plus souvent d'être un enregistreur précis. De plus, s'il n'est pas nécessaire de renouveler la surveillance tous les jours, il n'en faut pas moins l'exercer à des intervalles réguliers et assez rapprochés. Le contrôle est un travail absorbant et tout le monde ne peut lui consacrer ainsi et aussi souvent des journées entières. La détermination du rende-

ment du lait en beurre n'a enfin de signification que si l'on remet à l'opérateur qualifié pour opérer les dosages utiles un échantillon réellement moyen de tout le lait fourni dans la même journée par chaque vache, d'où nécessité absolue de prélever un échantillon proportionnel au poids et au volume de chaque traite, tous les échantillons des traites du même animal étant finalement réunis et mélangés.

Ces pesées, ces échantillonnages partiels et, en un mot, tous les calculs et opérations qu'exige le contrôle laitier constituent de réelles difficultés bien faites pour effrayer le plus grand nombre des agriculteurs. Ceux dont l'intelligence et l'instruction dépassent la moyenne peuvent cependant, s'ils ont de la volonté et de la patience, essayer de concourir eux-mêmes à l'établissement de cette minutieuse comptabilité de leur exploitation. Il est toutefois prudent qu'ils se fassent éduquer, guider et aider, en ce qui concerne la partie analytique, par un spécialiste, professeur d'agriculture ou directeur de laboratoire agricole, et qu'ils exécutent les pesées et prélèvements au moyen d'un matériel spécial combiné pour simplifier les manipulations et prévenir, autant que possible, les maladresses et les inexactitudes. C'est ainsi que fonctionne, en Allemagne, le *contrôle organisé par la station agronomique de Halle.* Moyennant un prix relativement faible par tête de bétail, les agriculteurs s'abonnent à ce service après s'être munis d'un appareil de mesurage agréé et d'une caisse réglementaire d'échantillonnage. Le seau à traire les échantillons, qui est en fer-blanc ordinaire, permet de se rendre compte facilement du volume exact de lait obtenu à chaque traite et surtout de prélever, au moyen d'un dispositif spécial, un échantillon dont le volume est bien proportionnel à celui de la traite. Tous les échantillons partiels provenant de la même vache sont versés directement dans un flacon portant le numéro sous lequel l'animal est inscrit au contrôle. La station se charge d'envoyer à chaque abonné, et à des jours déterminés, une caisse contenant des flacons en nombre suffisant pour l'échantillonnage du lait de chaque vache. Les récipients reçoivent à leur départ du laboratoire ce qu'il faut d'antiseptique pour assurer la conservation du lait pendant le transport et en attendant l'analyse.

Cette organisation, la chose est facile à prévoir, présente le sérieux inconvénient de n'offrir aucune garantie d'exactitude. Le plus souvent, les pesées, les prélèvements, c'est-à-dire les bases mêmes sur lesquelles repose le contrôle laitier, doivent se ressentir de l'inhabileté des cultivateurs. De plus, le côté rationnement de la question se trouve inévitablement négligé.

L'essai de Halle l'a confirmé. Il est alors permis de se demander s la surveillance exercée dans ces conditions aboutit à une sélection très judicieuse des animaux et constitue un précieux moyen de perfectionnement pour l'élevage. Les grandes exploitations seules nous paraissent susceptibles d'avoir une direction assez éclairée et de pouvoir disposer d'un personnel et de moyens suffisants pour pratiquer le système allemand. Mais, dans la majorité des cas, celui-ci semble condamné d'avance à l'insuccès par suite de la confiance imméritée qu'il accorde à la bonne volonté et aux capacités des propriétaires d'étables. Il est donc de toute nécessité, si l'on veut éviter les mécomptes et les dépenses inutiles, d'adjoindre à ces derniers un contrôleur suffisamment instruit et exercé à l'établissement de la comptabilité de leur production.

Ce principe admis, si l'on considère cependant combien est grande la dissémination[1] des vaches laitières et combien est relativement restreint le nombre des exploitations à gros capitaux et possédant un nombreux bétail, on comprend de suite que la plupart des propriétaires, livrés à leurs propres ressources, ne peuvent, pour des raisons économiques, tirer parti de cette idée, à moins qu'ils n'entrent dans la voie si féconde de l'*association coopérative*. Celle-ci constitue en effet un autre système qui mérite toute l'attention des agriculteurs, car, pour une dépense minime, il assure tous les avantages que nous avons reconnus sur le papier au contrôle laitier rationnellement et rigoureusement opéré.

Qu'est-ce qu'une société de contrôle et comment celle-ci peut-elle fonctionner ? Nous allons répondre à ces deux questions en nous basant principalement sur ce qui a été fait dans cet ordre d'idées en Danemark. C'est là que l'on a entrevu pour la première fois les bienfaits de l'union de la science et de l'association et compris que cette dernière était le seul moyen de faire profiter le praticien des idées et

des faits sans cesse accumulés et contrôlés par les expériences de laboratoire. Il n'est pas besoin de rappeler le but principal des sociétés de contrôle. Nous croyons cependant que tout en cherchant à constituer des étables uniquement composées de vaches à grand rendement et cela par élimination des parasites dont l'exploitation laisse de trop minimes bénéfices et tout en travaillant ainsi à l'amélioration de la race par sélection des reproducteurs, la société de contrôle pourrait très utilement s'occuper également de l'achat en commun des aliments concentrés, dont l'introduction dans la ration de la vache laitière est souvent nécessaire, nous l'avons démontré. Ceci posé, si l'on réfléchit que les frais de contrôle sont d'autant moins élevés que la surveillance est exercée par un personnel aussi réduit que possible et ne se déplaçant que très peu, il semble logique de limiter tout d'abord le nombre des adhérents et de n'associer que des propriétaires dont les exploitations sont dans la même contrée. Les sociétés danoises comprennent au plus de douze à quinze membres, dont les étables réunies contiennent généralement de trois cents à quatre cents vaches soumises au contrôle. Celui-ci peut alors être exercé facilement et soigneusement par la même personne. Pour suivre individuellement la production d'un plus grand nombre de laitières, il faudrait s'adjoindre le concours de plusieurs aides et l'organisation du contrôle perdrait de suite le caractère de simplicité qu'il faut lui conserver comme à toute institution passagère. Les sociétés en question ne peuvent être, en effet, des associations de longue durée, car les exploitations changent de propriétaires et de direction. Aussi les Danois les constituent-ils pour cinq ans seulement. La direction est confiée à un comité de trois membres, nommés au sort la première année et qui sortent tour à tour tous les trois ans. Le comité choisit le président auquel incombent la direction générale et le recouvrement des cotisations et qui préside au choix du contrôleur, débat les conditions de son concours, signe enfin l'engagement au nom de la société. Au comité revient encore le soin d'acheter le matériel nécessaire à l'exécution du contrôle. Quant à la répartition de l'ensemble des dépenses entre les sociétaires, on ne la fait que deux fois par an. La cotisation dépend naturellement du nombre des vaches que chacun a soumises au contrôle. Le socié-

taire prend encore à sa charge les frais de nourriture et de logement du contrôleur pendant la durée du séjour de ce dernier à sa ferme. Il doit également transporter chez le sociétaire voisin, qui est contrôlé après lui, le coffre où se trouvent enfermés les appareils de contrôle.

Passons à l'exécution du programme par le contrôleur dont le travail consiste, nous le savons, à déterminer simultanément, pour chaque vache, la valeur de l'apport nutritif ainsi que le rendement en lait et en beurre, puis à inscrire sur un livre spécial les résultats de ses opérations. Les sociétaires sont généralement contrôlés deux fois par mois, cela suffit, et le président fixe en conséquence, une fois pour toutes, l'ordre des visites chez les différents membres. Le contrôleur est tenu de rester au moins vingt-quatre heures de suite dans l'exploitation qu'il inspecte, afin d'assister à trois traites consécutives. S'il arrive par exemple dans le courant de la journée, il préside à la traite du soir, puis le lendemain à la traite du matin et enfin à celle de l'après-midi. Il en profite pour surveiller le personnel pendant qu'on tire les vaches en sa présence et apprend à ceux qui s'y prennent mal comment on arrive, en conduisant rationnellement la traite, à faire produire davantage à l'animal. Le coffre de contrôle contient naturellement un seau d'échantillonnage permettant de prendre un échantillon moyen de chaque traite, — nous nous sommes déjà expliqué à ce sujet, — puis une série de flacons numérotés, destinés à recueillir les échantillons, et enfin un appareil de pesage.

Entre les traites le contrôleur s'occupe du rationnement, examine l'état des animaux, qu'il pèse si la chose lui est possible, et enfin détermine la qualité du lait. En ce qui concerne le rationnement, il obtient le poids des diverses rations consommées en retranchant pour chaque aliment le poids de ce qui n'a pas été mangé de la pesée du même aliment mise de côté lors de sa précédente visite. Le contrôleur donne en même temps ses instructions pour la période suivante, car on ne modifie que très rarement les rations entre ses visites. Beaucoup d'exploitations danoises appliquent le rationnement individuel ; aussi dans les étables sectionne-t-on les auges en compartiments distincts au moyen de cloisons solides et assez élevées pour que chaque vache soit obligée de ne manger qu'à sa place. Ces

cloisons sont mobiles et peuvent être manœuvrées et relevées simultanément afin de permettre le nettoyage de l'auge. Le contrôleur n'établit jamais dans la pratique autant de rations spéciales qu'il y a d'animaux. Il se contente de classer ceux-ci d'après leur âge, leur poids, la quantité de lait produit. Le rationnement se fait alors par groupes. On classe généralement les vaches en trois catégories (vaches à grands rendements, à rendements moyens et, enfin, à rendements faibles). Les aliments une fois prélevés, il ne reste plus alors au contrôleur qu'à exprimer en unités nutritives tout ce que l'animal a consommé. Nous savons comment le calcul s'effectue.

La détermination de la qualité du lait se fait également sur place et par les soins du contrôleur. Celui-ci dispose des appareils nécessaires au dosage rapide, mais exact du beurre. S'il est, par hasard, utile de connaître avec plus de détails la composition du lait, rien n'est plus facile que d'envoyer des échantillons au laboratoire le plus voisin. Chaque coffre de contrôle contient de petites caisses spéciales permettant de transporter les flacons d'échantillonnage.

Pour doser rapidement le beurre, on sépare tout d'abord, au moyen de la force centrifuge, la crème d'un volume de lait connu, et cela sur un grand nombre d'échantillons à la fois, puis, cette séparation opérée, on mesure la hauteur de crème dans le tube qui contenait la prise d'échantillon et l'on en déduit le pourcentage de matières grasses. Les appareils les plus usités sont le centrifuge-contrôleur de Fjord et le butyromètre Gerber. On peut également se servir de l'appareil de Soxlet, basé sur les différentes densités que possèdent les solutions de matières grasses dans l'éther. Citons enfin la méthode réfractométrique de Wolny qui permet de déduire la teneur du lait en beurre, des variations de l'indice de réfraction du mélange avec l'éther de la crème, séparée toujours de même, en centrifugeant le lait. Tous ces procédés sont on ne peut plus rapides. Avec l'appareil Gerber, construit pour vingt-quatre essais simultanés, le contrôleur peut, par exemple, en huit heures et sans aucun aide, opérer deux cents dosages de beurre. Si on lui adjoint quelqu'un, il arrive à quatre cents dosages. Mais nous ne pouvons entrer ici dans le détail de ces opérations analytiques.

Tous les résultats obtenus sont inscrits dans des livres spéciaux,

avec en-têtes préparés d'avance, que la société remet au contrôleur. La comptabilité des sociétés danoises est généralement tenue sur trois sortes de livres. Sur l'un d'eux, le contrôleur note tous les renseignements qu'il recueille dans chaque exploitation, à chaque contrôle. Dans un second, il réunit toutes les observations de l'année concernant la même vache. Enfin, sur un troisième, il établit séparément pour chacun des sociétaires le compte récapitulatif de son troupeau. Il résume même encore quelquefois les données des trois premiers livres et en déduit le compte général de la société. Les tableaux I et II nous permettront de mieux comprendre et apprécier les détails de cette comptabilité.

Ils ne sont pas en tous points semblables à ceux des livres danois, mais nous nous sommes efforcé de les simplifier autant que possible, car les sociétés de contrôle multiplient souvent les écritures bien inutilement.

Tous les ans, le contrôleur extrait du tableau I les données qui concernent la même vache et les transcrit sur un livre. Il prend ensuite la moyenne des chiffres comparatifs et établit un tableau analogue au tableau II.

Quand le compte individuel, le plus important de tous, est établi, il devient facile d'ouvrir un livret d'ensemble spécial à chaque vache et d'y indiquer à mesure les résultats de chaque année de contrôle. Le dossier de l'animal est ainsi complet. Le passage de la comptabilité de chaque exploitation à la comptabilité de toutes les exploitations de la même société de contrôle ne souffre aucune difficulté. Inutile d'insister.

Nous savons maintenant ce que l'on demande au service d'inspection des sociétés de contrôle. Le résultat, on le voit, dépend uniquement de l'instruction pratique et théorique, de l'habileté, du zèle du contrôleur, ainsi que de la conscience et de l'assurance avec lesquelles il remplit la mission qui lui a été confiée. Il n'est donc pas inutile de se préoccuper du meilleur mode de recrutement des contrôleurs. Les Danois n'emploient guère pour visiter leurs laiteries que des jeunes gens, dont les exigences sont en rapport avec le budget restreint de leurs sociétés, et comme le travail du contrôle, bien que très vaste, se trouve néanmoins à la portée de toutes les intelligences

TABLEAU I

COMPTABILITÉ DES OPÉRATIONS DE CONTROLE

Nom du sociétaire :... *Date du contrôle...* *Durée du contrôle...*

NOM ET NUMÉRO D'ORDRE de la vache	POIDS DES TRAITES d'échantillonnage				POURCENTAGE de matières grasses du lait de la traite				POIDS DU LAIT à 1 °/₀ de beurre (1)	RENDEMENT total en lait entre deux contrôles en ... jours	POIDS du beurre produit en ... jours	UNITÉS NUTRITIVES consommées en ..... jours, depuis le dernier contrôle provenant des aliments suivants :						OBSERVATIONS
												Poids des aliments consommés					Total en unités nutritives	
	Traite du matin	Traite de l'après-midi	Traite du soir	Total	du matin	de l'après-midi	du soir	Moyenne				Foin	Paille	Tourteau	etc.	Pâturage		

1. Cette rubrique désigne le poids de lait obtenu en multipliant la quantité de lait des trois traites de contrôle par le pourcentage moyen du lait des vingt-quatre heures en matières grasses. On obtient ainsi une sorte d'unité de comparaison qui permet au contrôleur de se rendre compte de suite de la valeur de la vache et des modifications de la lactation.

TABLEAU II

COMPTABILITÉ INDIVIDUELLE

Année de contrôle... *Nom et numéro d'ordre de la vache...* *Appartenant à...*

Née le	**Poids vifs** { le le le le	**Origine** { Mère Père	**Vêlé le** **A été saillie le** **Par** **Nom et origine du taureau**	**Sexe, robe et signalement du veau** **Destination du veau**
Autres observations :	**Hauteur au garrot :** **— à la croupe :** **Tour de poitrine :** **Largeur à la hanche :** **Profondeur de la poitrine :**	**Mesures prises le :**	**La vache recevait l'alimentation suivante :**	**Primes obtenues :**

PÉRIODES	PRODUCTION DE LAIT et de beurre d'après les traites d'échantillonnage			POIDS de lait à 1 °/° de beurre	POIDS de lait correspondant à une livre de beurre	VARIATIONS de poids vif	UNITÉS NUTRITIVES CONSOMMÉES provenant des aliments suivants					PAR JOUR moyen			POUR CENT UNITÉS nutritives		
	Poids du lait produit	Pourcentage de lait en matières grasses	Beurre produit								Total	lait produit	beurre produit	unités nutritives consommées	lait produit	beurre produit	accroissement de poids vif
Semestre d'été																	
Semestre d'hiver																	
Pour l'année																	

moyennes et n'exige pas une instruction supérieure [1], ils s'adressent de préférence à des fils de propriétaires d'étables, ayant déjà acquis une certaine expérience dans leur propre ferme, surtout en ce qui concerne les soins à donner aux animaux. Mais ces jeunes gens ne deviennent contrôleurs qu'après avoir reçu un complément nécessaire d'instruction. Ils fréquentent donc les écoles d'agriculture, et y acquièrent les notions fondamentales de la science agricole, tout en étant spécialement préparés au travail du contrôle laitier. On leur enseigne les principes fondamentaux de l'alimentation rationnelle ; on leur fait connaître les méthodes de sélection des animaux et la raison d'être des sociétés de contrôle ; on leur apprend comment il faut traire les vaches. Ils exécutent enfin, en outre, journellement les travaux ordinaires du contrôle avec lesquels ils doivent être entièrement familiarisés (pesées ; prises d'un échantillon moyen de chaque traite ; détermination du beurre soit avec l'appareil Fjord, soit avec le Gerber ; calcul des unités nutritives apportées par les aliments ; tenue des livres de contrôle ; critique des résultats, etc.). On conçoit tout l'intérêt de ce mode de recrutement, car *les sociétés de contrôle constituent ainsi une véritable pépinière de praticiens éclairés,* entièrement rompus à la pratique de l'exploitation rationnelle de la vache laitière.

Pour terminer ce rapide exposé de la question, il ne nous reste plus qu'à faire connaître le prix de revient du contrôle et à établir ensuite le bilan des résultats obtenus par les sociétés qui le pratiquent.

Le prix d'achat d'un coffre de contrôle et de tous les appareils nécessaires étant de 300 fr. environ et les appointements du contrôleur s'élevant en moyenne avec les faux frais à 560 fr., le contrôle, pour un troupeau de trois cents à quatre cents vaches, coûte donc, par tête de bétail contrôlé, 2 fr. 80 au maximum la première année

1. Les sociétés de contrôle sont très souvent fédérées et la fédération a alors à sa tête un directeur technique général, soit un chef de station agronomique, soit un directeur d'école d'agriculture, faisant autorité en matière de production laitière et auquel l'on soumet toutes les questions délicates exigeant des connaissances plus vastes que celles des contrôleurs.



et de 1 fr. 30 à 2 fr. les années suivantes. Mais, il ne faut pas perdre de vue que la plupart des sociétés danoises reçoivent de l'État des subventions variant de 300 à 500 fr., atteignant presque le montant des appointements du contrôleur. Le ministère de l'agriculture distribue ainsi par an près de 70 000 fr. aux sociétés de contrôle à titre d'encouragement.

Quant aux résultats pratiques, ils sont des plus intéressants. On a constaté au Danemark que, dans la plupart des troupeaux, la moitié des vaches et même quelquefois plus, étaient mauvaises laitières ou beurrières. L'élimination de toutes les bêtes improductives, c'est-à-dire transformant mal leur ration, a fait augmenter de suite dans de très grandes proportions les bénéfices des exploitations laitières.

Voici par exemple les améliorations d'utilisation de la ration obtenues en quatre ans de contrôle par trois sociétés danoises :

	UNITÉS NUTRITIVES nécessaires pour produire une livre de beurre		
	I	II	III
Année 1897.	20,52	16,53	19,37
— 1898.	18,32	16,80	16,23
— 1899.	17,83	14,34	13,45
— 1900.	14,83	11,20	12,16

Les chiffres suivants nous font également ressortir tous les avantages économiques de l'élimination des mauvaises beurrières; ils montrent quelle est l'augmentation des bénéfices du producteur de 3 000 litres de lait à mesure que le pourcentage de ce dernier en beurre s'élève, par suite de la sélection du bétail.

Pour une teneur de lait en matières grasses de :

2,5 °/o,	le beurre de	3 000 litres a	une valeur de	210 fr.
3,0 °/o,	—	—	—	244
3,5 °/o,	—	—	—	281
4,0 °/o,	—	—	—	315

Le tableau suivant, non moins significatif, met plus complètement en évidence l'heureuse influence de quatre années de contrôle sur l'amélioration du bétail et par conséquent sur la production soit en lait, soit en beurre, de toute l'étable. Ces chiffres sont extraits d'un registre de contrôle d'une des sociétés danoises.

On remarquera que, dès la seconde année de contrôle, l'étable en question produit plus de lait et de beurre avec moins de vaches. L'élimination des mauvaises laitières, que nous qualifiions précédemment et à juste titre de véritables parasites, aboutit en effet toujours régulièrement, non seulement à une surproduction, mais à une meilleure utilisation des fourrages, ainsi que cela ressort encore de la comparaison des chiffres de ce dernier tableau, plus détaillé et démonstratif que les précédents.

ANNÉES	NOMBRE DE VACHES	CLASSEMENT des vaches d'après la production du lait					MOYENNE des quantités de lait produit	CLASSEMENT des vaches d'après le pourcentage du lait en graisse			MOYENNE DE LA TENEUR DU LAIT en matières grasses	CLASSEMENT des vaches d'après la production du beurre				MOYENNE DE LA PRODUCTION de beurre
		plus de 4 000 kilogr.	de 4 000 à 3 500 kilogr.	de 3 500 à 3 000 kilogr.	de 3 000 à 2 500 kilogr.	moins de 2 500 kilogr.		plus de 3,5 °/o	de 3,5 à 3 °/o	moins de 3 °/o		plus de 150 kilogr.	de 150 à 125 kilogr.	de 125 à 100 kilogr.	moins de 100 kilogr.	
							Kilogr.									Kilogr.
1894-1895 . . .	111	29	26	27	18	11	3 503	5	47	59	2,97	20	40	30	21	124,70
1895-1896 . . .	104	37	24	23	10	10	3 765	8	67	29	3,13	36	34	23	11	137,85
1896-1897 . . .	109	26	28	25	17	8	3 898	8	65	36	3,14	24	32	30	23	127,84
1897-1898 . . .	99	25	34	18	13	9	3 602	12	67	20	3,21	36	33	16	14	158,66

Résultats moyens d'un contrôle de cinq années ayant porté sur le bétail de treize exploitations, pour une vache et pour une année :

ANNÉES	LAIT PRODUIT	TENEUR du lait en matières grasses	UNITÉS nutritives consommées	100 UNITÉS NUTRITIVES ont produit	
				lait	beurre
—	—	—	—	—	—
	Kilogr.	°/o		Kilogr.	Kilogr.
1895-1896	3 170,5	3,34	4 503	70,5	2,565
1896-1897	3 008,0	3,26	4 204	71,5	2,525
1897-1898	3 014,5	3,37	4 311	70,0	2,561
1898-1899	3 054,5	3,39	4 139	73,5	2,755
1899-1900	3 040,5	3,39	4 198	72,5	2,675

Donc, en résumé, *d'une part, augmentation de la production et,*

d'autre part, diminution de la dépense alimentaire. Tel est le bilan des conséquences immédiates de la méthode. Le contrôle présente également d'autres avantages non moins précieux, car le travail incessant, ainsi accompli dans les fermes pour arriver à la connaissance approfondie de la valeur de chaque bête, permet de choisir judicieusement les animaux reproducteurs.

Les sociétés de contrôle contribuent par cela même dans une très large mesure au développement des qualités des races laitières. Elles ont fait leurs preuves au Danemark, et si ce pays occupe aujourd'hui une des premières places parmi les producteurs de lait, cela provient en grande partie du soin que l'on a toujours pris de choisir les mères parmi les « bonnes laitières ». Or *le contrôle méthodique est le seul moyen,* nous l'avons démontré, *qui permette de désigner avec certitude les animaux à grand rendement et de les distinguer des bêtes dont l'exploitation n'est pas rémunératrice et dont il faut par conséquent se défaire.*

Il y a dix ans, lorsque fut fondée en Danemark la première société de contrôle, bien peu de propriétaires d'étables comprirent de suite l'importance de cette heureuse tentative. La cause, il faut le croire, était cependant bonne, puisqu'elle ne resta pas longtemps sans partisans et ne tarda pas à éveiller l'esprit d'initiative, le goût et l'intelligence de tous les agriculteurs. En 1900, on pouvait déjà compter 186 sociétés danoises, comprenant 4 000 membres et exerçant le contrôle de la production individuelle de 78 600 vaches. Actuellement, le nombre de ces associations est de 340. On voit avec quelle rapidité la méthode s'est répandue. Le mouvement ne s'est du reste pas limité au Danemark, ainsi que le tableau suivant permet de s'en rendre compte :

	SOCIÉTÉS de contrôle	
La Suède possède. . . .	204	(contrôlant 9 000 vaches dans 2 000 étables)
La Norvège —	120	
L'Allemagne —	50	
La Finlande —	40	
La Russie —	8	
La Hollande —	3	
L'Écosse —	2	
L'Autriche —	5	

Les considérations théoriques qui précèdent, jointes à l'immense succès obtenu par les sociétés de contrôle, tant en Danemark que dans les pays voisins, démontrent nettement la valeur indiscutable du système. Pourquoi ne l'appliquons-nous pas en France, où cependant les intérêts de l'agriculture réclament son extension à bref délai, ce dont on peut établir facilement et rapidement la preuve? Alors que nos exportations dans les pays importateurs de beurre, comme l'Angleterre, ont diminué en trois ans (de 1898 à 1900) de 20 °/₀, celles des pays du Nord, où l'esprit d'association ne cesse de faire progresser l'exploitation et l'élevage de la vache laitière, ainsi que la transformation et le commerce des produits de la laiterie, se sont accrues de 33 °/₀. Le Danemark à lui seul entre pour 44 °/₀ dans l'importation du beurre en Angleterre. Faut-il ajouter que sa production a déjà fait son apparition depuis plus de six ans sur le marché de Paris. (En 1900, 500 000 kilogr. de beurre ont été vendus aux Halles au prix de 3 fr. 80 à 4 fr.) Ces constatations ne sont-elles pas de celles qui doivent nous préoccuper? « Il ne nous semble pas possible, dit M. Grandeau, dans son rapport général sur l'agriculture en 1900, que le mouvement coopératif de la laiterie française, si remarqué à l'exposition, en s'accentuant et en s'étendant à la plupart de nos régions d'élevage, n'ait pas pour conséquence, malgré la consommation considérable dans notre pays des produits de la laiterie, une augmentation sensible de nos exportations. » Nous avons des pâturages et des races laitières renommés. Il faut savoir en tirer le meilleur parti, or, au point de vue de l'utilisation de nos richesses laitières, il nous reste bien des progrès à réaliser. Lorsque tout est à faire, les desiderata sont nombreux. Tous ne peuvent évidemment aboutir de suite et en même temps mais ce n'est pas une raison pour les laisser dans l'ombre. Nous concluons donc qu'il est de l'intérêt de l'agriculture :

1° D'attirer énergiquement l'attention des pouvoirs publics, de la représentation parlementaire des départements producteurs du lait et des grandes sociétés d'agriculture sur les heureux et incontestables résultats du contrôle rationnel de la production laitière, sur la possibilité d'appliquer cette méthode de progrès en entrant dans la

voie si féconde de l'association, et, enfin, sur la nécessité d'encourager son extension ;

2° De demander, en attendant que le principe même du contrôle soit obligatoirement enseigné dans toutes les écoles d'agriculture, qu'on fasse de suite connaître son utilité et ses effets dans les centres de production laitière, aux directeurs, par exemple, de laiteries et de beurreries coopératives, et cela par des brochures et des conférences ;

3° Que les laboratoires agricoles entreprennent quelques essais de contrôle, afin de démontrer aux cultivateurs la simplicité de la méthode et de provoquer l'entrée en jeu de l'initiative privée et de l'esprit d'association.

BIBLIOGRAPHIE

O. Kellner. — *Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere.* Berlin, 1905.

Grandeau. — *L'Agriculture et les institutions agricoles du monde au commencement du vingtième siècle.* T. I, 1905.

Rudolf Schou. — *L'Agriculture au Danemark,* 1900.

Pott. — *Die Dänischen Kontrollvereine.* Berlin, 1901.

Boer. — *Die Dänischen Kontrollvereine.* Berlin, 1902.

Scheffer. — *Die Dänischen Kontrollvereine.* Leipzig, 1902. — *55de Beretning fra den kongelike Veterinär og Lanbohöjskoles laboratorium for Frislandökomiske Forsög.* Copenhague, 1904.

Pott et Schrwe. — *Kontrollvereine für Milchleistungen.* (Deutsche Landw. Gesell., n° 99, 1904.)

Grégoire. — *Contrôle de la production du lait.* (Deuxième Congrès international de l'alimentation rationnelle du bétail. Liège, 1905.)

ESSAIS D'IRRIGATION EN FORÊT

FAITS PRÈS DE VIENNE (AUTRICHE)

PAR MM.

BÖHMERLE
ATTACHÉ A LA STATION D'EXPÉRIENCES FORESTIÈRES DE MARIABRUNN

Dr CIESLAR
PROFESSEUR A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'AGRICULTURE DE VIENNE

La question de l'irrigation en forêt n'est pas nouvelle, non seulement pour les pépinières et les jeunes plants forestiers, mais même pour les peuplements constitués. Ainsi, il y a déjà longtemps, on a proposé de se servir des eaux coulant dans les fossés des routes forestières pour arroser, à l'aide de tuyaux ou de rigoles, les arbres avoisinants. Cette idée de l'utilisation des eaux est exprimée dans plusieurs ouvrages (Leo Anderlind, *Beschreibung der Bewässerung der Waldungen der Ebene mittelst.Fächer oder Häller,* 1903, *Allg. F. und J.-Z.*), et dans une autre brochure du même auteur publiée auparavant : *Ein System von Mitteln zur Verhütung schädlicher Hochwässer*.

Notre station de recherches s'est aussi occupée plus particulièrement de cette question. Dans l'année 1901 elle a installé des essais d'irrigation dans la forêt de pins de Grossen appartenant à la commune de Wiener-Neustadt. L'impulsion fut donnée à la suite de l'excursion, faite en 1894 par l'*Association des forestiers autrichiens,* où l'on put aisément se convaincre du grand contraste de la végétation sur le terrain arrosé par le Kehrbach et sur les sols secs de la lisière sud.

Sur la bande relativement étroite qu'arrose le Kehrbach la végé-

tation est luxuriante. On y rencontre des arbres et des plantes qui, à quelques centaines de pas plus loin, ne pourraient se développer, ou, du moins, avoir une aussi belle croissance. Ce fut le chevalier von Berg qui se prononça pour une irrigation de la forêt et le conseiller aulique Friedrich promit d'obtenir de la commune une concession pour des essais de ce genre.

C'est seulement en 1901 que la station de recherches fut en état de faire au conseil de Wiener-Neustadt des propositions à cet égard, et le conseil consentit très gracieusement comme d'habitude, si bien qu'après Pâques de 1901 on put procéder à l'installation des essais. On les fit dans des plantations et dans des peuplements naturels et, chaque année, on procéda aux mesurages et aux observations nécessaires.

Bien que les résultats se fussent montrés en peu de temps, la station de recherches n'aurait pas fait une publication hâtive et aurait attendu la confirmation de nombreuses années si l'extraordinaire sécheresse de 1904 ne s'était fait remarquer si fortement en certaines parties du champ d'expériences qu'il a paru désirable de publier immédiatement les résultats.

Nous allons d'abord donner une description de la disposition des expériences.

La forêt de pins de Grossen est traversée par un seul ruisseau, le Kehrbach, qui est artificiel. C'est une dérivation de la Schwarza qui déverse son eau dans le canal de Wiener-Neustadt, aujourd'hui sans importance. Un autre filet d'eau d'un faible volume est le ruisseau Feuerbachel qui se jette dans le Kehrbach. Il sert à irriguer un ensemble de prairies et, en cas d'incendie, il doit amener l'eau dans la forêt de pins très exposée à ce danger.

C'est ce Feuerbachel qui fournit l'eau destinée à l'irrigation. Le croquis montre la disposition des essais.

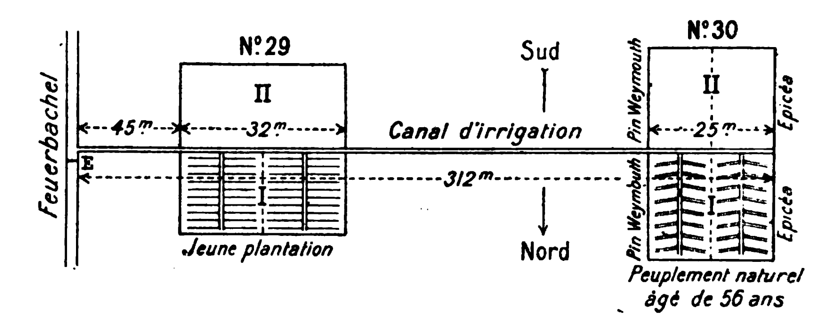
L'eau du Feuerbachel s'amasse dans l'écluse E et passe de là dans un canal d'irrigation qui, après avoir tranché la haute futaie de l'Altstrasse, atteint la parcelle Grasseln et, au bout de 45 mètres, traverse la plantation artificielle mise en expérience (n° 29). A 300 mètres plus loin elle atteint le peuplement naturel (parcelle Saubersdorferfeld) [n° 30].



Dans ces deux parcelles on a pris des dispositions pour faciliter l'irrigation. La pente de la rigole est faible, mais suffisante (en moyenne 7,7 °/₀).

Les surfaces irriguées 29 (I) et 30 (I) ont la pente naturelle du terrain et les parcelles témoins non arrosées sont situées au-dessus.

Quand il y a pleine eau, le Feuerbachel donne 256 litres par seconde et 14 litres dans le canal. Pour une irrigation on est donc obligé de prendre un dix-huitième du débit du Feuerbachel. Cette irrigation se fait à des intervalles plus ou moins rapprochés, suivant les besoins, par un surveillant qui s'occupe aussi de l'entretien des fossés. On tient un registre exact des opérations. Nous allons seule-



Croquis des places d'essai

ment donner dans ce qui va suivre les résultats obtenus pour le peuplement naturel (n° 30). Le Dr Cieslar se charge de faire le rapport sur la plantation artificielle (n° 29).

Le peuplement est composé de pins noirs qui avaient cinquante-six ans au moment des essais. Il aurait été mieux de prendre un peuplement plus jeune ; mais à cause de la nécessité de diminuer les frais en opérant en connexion avec l'irrigation de la plantation, ce choix était obligatoire.

D'autre part, ce choix était avantageux, parce que dans cette parcelle, peuplée d'arbres de même âge et de même origine, on a déjà fait, depuis 1882, des expériences sur les éclaircies et sur la couverture du sol, circonstance pouvant être utile au but poursuivi.

Tandis que les surfaces d'essai voisines nos 2 et 3 ont été traitées

depuis 1882 suivant les mêmes principes en vue des expériences, le peuplement soumis à l'irrigation (surface d'essai n° 30) a été éclairci par le service local à d'autres moments et pas toujours de la même façon. Aussi une comparaison directe de ce peuplement avec les surfaces d'essai n°s 2 et 3 n'est pas possible; car tandis que la surface d'essai n° 2 accuse, avec le degré d'éclaircie moyenne, environ 6 100 tiges en 1902 et 3500 dans les parties éclaircies fortement, avec une surface terrière de 34mq,6, soit 28mq,9 par hectare, il restait, après l'enlèvement des tiges dominées, sur la surface d'essai n° 30, dans I 3 720 tiges et dans II 3 600, avec une surface terrière de 27mq,9, soit par hectare 32mq,8. (Voir les totaux des tableaux A et B. Comme on a mesuré sur chaque tige deux diamètres perpendiculaires, que les surfaces terrières sont par suite doublées et que les surfaces d'essai sont de 5 ares, il n'y a qu'à multiplier les totaux par dix pour avoir la surface terrière par hectare.)

Les deux parcelles I et II ne sont pas semblables, du moins sous le rapport des surfaces terrières, quoiqu'elles concordent assez par le nombre des tiges. Cette différence provient du plus grand nombre de grosses tiges dans II. Comme pourtant il eût été difficile de trouver un peuplement plus convenable, on s'en tint à ces deux parcelles.

Cette différence dans la surface terrière n'a pas d'importance ici puisque l'on observe chaque tige séparément.

Les surfaces d'essai n'embrassèrent que 5 ares. Les circonstances ne permettaient pas d'en prendre de plus grandes. On en a été empêché parce qu'on aurait trouvé encore de plus fortes irrégularités dans le rayon d'essai; la pente eût été trop forte, et par suite les frais d'irrigation trop élevés.

Enfin l'éloignement de la source et les rapports avec les possesseurs de prés co-partageants au droit d'irrigation étaient à considérer.

Dans l'ensemble l'emplacement était favorable: le sol étant partout homogène et la pente faible favorisant l'irrigation. Les bourrelets établis autour de la surface I à irriguer n'étaient pas hauts. La composition du sous-sol était avantageuse. Le sol, formation diluviale, est du sable calcaire et du *Schotter* recouvert par une couche

de terre de 15 à 30 centimètres. A une profondeur de 45 à 60 centimètres se trouve une couche de conglomérat de 4 centimètres environ qu'atteignent les racines et sur laquelle elles s'étalent. Cette couche imperméable retient les eaux d'infiltration et permet à l'excès de s'écouler suivant la pente naturelle.

M. de Seckendorff a décrit longuement ce sol dans son travail sur le pin noir (1re partie, p. 42) et a montré dans plusieurs figures comment, suivant l'âge, les racines du pin noir s'étalent sur ce conglomérat et forment, à sa surface, chez les vieux arbres, dans un peuplement un peu épais, un feutre inextricable.

En vue de l'irrigation les parcelles I furent munies de deux rigoles principales sur lesquelles s'embranchaient un certain nombre de rigoles secondaires de manière à distribuer l'eau partout, autant que possible. Dans les premiers essais il fallait attendre assez longtemps avant que l'eau parvînt aux arbres; mais dès que le canal d'irrigation de plus de 300 mètres de long fut colmaté, l'irrigation fut bien plus rapide.

Le dispositif fut prêt au printemps de 1901 avant la saison de végétation; toutes les tiges, soit de la parcelle irriguée, soit de la parcelle témoin, furent numérotées et mesurées.

A l'automne de 1901, après la période de végétation, on mesura de nouveau très exactement, jusqu'au millimètre, toutes les tiges et on répéta cette opération chaque année à la même époque. En 1902 il y eut quelques chablis.

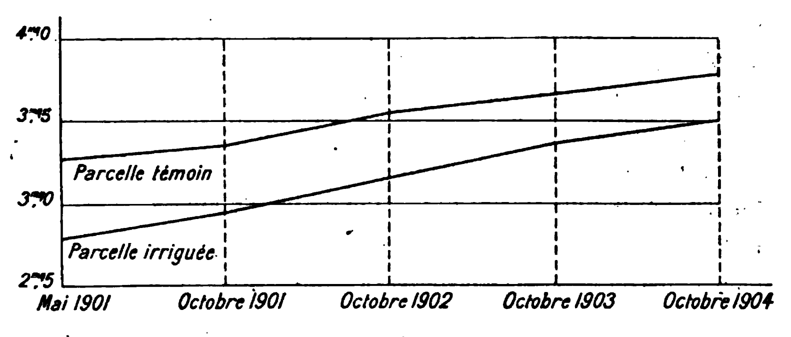
Déjà à l'automne de 1901 la parcelle irriguée accusait une augmentation de surface terrière beaucoup plus grande que la parcelle témoin et ce résultat se continua dans les années suivantes. Ainsi cette augmentation fut pour les années

	1901 — P. 100.	1902 — P. 100.	1903 — P. 100.	1904 — P. 100.	
de . . .	2,3	7,5	12,0	15,2	dans la parcelle témoin,
et de . .	5,0	12,4	19,5	25,0	dans la parcelle irriguée.

L'accroissement annuel, qui a donc été de **2,3, 5,2, 4,5, 3,2** °/o dans la parcelle témoin, ***s'est élevé, comme on voit, pour les années correspondantes, à* 5,0, 7,4, 7,1, 5,5 *dans la parcelle***

irriguée. Le supplément d'accroissement dû à l'eau n'a varié pour chaque année qu'entre 2,2 et 2,7 °/₀. On peut admettre que c'est le taux normal qu'on retrouvera dans les années suivantes.

Le supplément d'accroissement de la surface irriguée est donc évident. On le constate aussi dans le graphique ci-dessous où l'on voit la courbe exprimant la surface terrière de la parcelle irriguée se rapprocher toujours plus de la courbe relative à la parcelle témoin.



Courbe des surfaces terrières

[L'auteur, dans un long tableau que nous ne reproduisons pas ici, donne pour chaque tige, à la fin de chaque saison, la longueur de deux diamètres perpendiculaires et la surface des cercles correspondants.]

Pour les cent quatre-vingt-sept tiges de la parcelle irriguée et pour les cent quatre-vingt-cinq de la parcelle témoin, la surface terrière (voir la courbe ci-dessus) a été en :

	MAI	OCTOBRE			
	1901	1901	1902	1903	1904
	Mèt. carrés	Mèt. carrés	Mèt. carrés	Mèt. carrés	Mèt. carrés
Parcelle irriguée. .	2,7943	2,9344	3,1412	3,3386	3,4919
Parcelle témoin . .	3,2822	3,3567	3,5295	3,6754	3,7823

Si l'on distribue les tiges en trois classes d'après leur grosseur et qu'on trace les courbes d'accroissement de ces trois classes on voit que :

1° L'irrigation a influé favorablement sur l'accroissement dès la première année (1901) et surtout sur les tiges les plus faibles ;

2° La courbe de 1902 surpasse sensiblement celle de 1901, montrant que l'action de l'eau s'est encore accrue cette année-là ;

3° En 1903 les tiges les plus faibles ont encore éprouvé un supplément d'accroissement notable, les autres un moindre.

Quant à la courbe de 1904, elle atteste sans nul doute la sécheresse du dernier été.

On doit conclure de ce qui précède que l'irrigation en forêt est utile, même sur les peuplements forestiers *formés d'arbres faits*, et que, au cas particulier, elle est facilement praticable dans la pineraie de Grossen.

Ces expériences ne sont pas terminées. On ne se bornera pas à résoudre la question par des cubages ; mais, lorsqu'on mettra fin à l'essai dans un temps indéterminé, on abattra le peuplement, ce qui donnera des notions encore plus exactes ; on pourra calculer le produit en argent de l'excédent de matériel ligneux dû à l'irrigation et voir si l'opération donne ou non du bénéfice.

KARL BÖHMERLE.

EFFETS DE L'IRRIGATION SUR DE JEUNES PLANTATIONS D'ÉPICÉA ET DE PIN WEYMOUTH

Parmi les facteurs de la végétation, l'eau joue un rôle prédominant. Le taux de production du travail végétatif d'une plante n'est cependant pas proportionnel au taux d'humidité du sol ; loin de là. Ce travail commence avec un certain minimum d'eau dans le terrain ; il devient plus actif à mesure qu'elle augmente jusqu'à un certain degré qui est l'optimum, pour décroître avec un nouvel afflux d'eau et cesser quand cette augmentation dépasse un taux déterminé. Donc pour l'eau, comme pour les autres agents de la végétation, il y a trois points importants dans la courbe, le minimum, l'optimum, le maximum.

Ainsi que l'ont montré les recherches approfondies du professeur

WOLLNY (1) la production des végétaux et, au point de vue forestier, la production du bois sont dominées par ce facteur qui agit de la même façon, quand il est trop faible et insuffisant ou quand il s'approche du maximum. « Les agents extérieurs de la vie des plantes sont, relativement à leur influence sur la production, dépendants les uns des autres de telle sorte que les lois constatées pour chacun d'eux s'appliquent à l'ensemble de leur action. »

Si, par exemple, dans un peuplement forestier, l'humidité du sol atteint l'optimum, le maximum de production ligneuse ne se réalisera cependant point si les matières minérales nutritives ne sont pas à l'optimum dans le sol.

Inversement cette proportion optima d'aliments dans le sol n'aboutira pas au maximum de production s'il n'y a pas assez d'eau.

Cetté même dépendance se retrouve aussi pour les autres facteurs de végétation, la température et la lumière.

D'après les recherches faites jusqu'ici, la production des végétaux semble être influencée par l'apport d'eau d'une façon tout à fait extraordinaire, bien plus que par n'importe quel autre facteur de la végétation.

Un manque d'eau dans le sol amène une diminution dans la décomposition des matières organiques, par suite dans le taux des matières nutritives assimilables et dans le courant de sève de la plante.

Un excès d'eau empèche que l'air arrive aux racines ; au lieu de l'*eremacausis* (2), c'est *la putréfaction* (décomposition forménique) qui se produit, et alors les éléments azotés et minéraux ne deviennent pas assimilables comme dans l'eremacausis, étant enfermés dans des humus acides. De plus, par ce même excès d'eau, la respiration est entravée.

---

1. E. WOLLNY. Untersuchungen über den Einfluss der Wachstumsfaktoren auf das Produktionsvermögen der Kulturpflanzen (*Forschungen a. d. Geb. der Agricultur-physik.* Fasc. XX, p. 53 et suiv.).

2. La décomposition par *Eremacausis* (de ἠρέμα, paisiblement, insensiblement, et de καῦσις, combustion) est celle qui se fait en présence de l'oxygène et qui donne lieu à la formation de l'*humus neutre* ou *doux*, qui, en sylviculture, s'appelle le *terreau forestier*. C'est le meilleur mode de décomposition, celui qu'on doit toujours chercher à réaliser.



Du reste le besoin en eau des plantes est très fortement influencé, relativement au maximum de production, par la température, par l'humidité de l'air et aussi par la composition physique du sol. Pour arriver au maximum il faut d'autant moins d'eau dans le terrain qu'elle est moins énergiquement retenue.

Sur des sols à gros éléments et contenant peu de substances colloïdales, tels que les gros sables, on peut obtenir le maximum de production avec une faible quantité d'eau, tandis que des sols argileux et humiques en exigent une bien plus forte proportion.

Dans beaucoup de stations forestières, dites sèches, le taux du sol est au-dessous de l'optimum. D'autres stations forestières ont une teneur en eau qui varie entre l'optimum et le maximum. Tandis que pour corriger l'inconvénient résultant de l'excès d'eau le forestier a l'habitude d'intervenir par des drainages, on parle rarement d'irrigation en forêt sur des sols trop secs. Ce qui est en agriculture, depuis des siècles, une mesure utile habituelle, n'a pas été ou à peine adopté par le forestier. On se tromperait cependant si l'on croyait que l'irrigation n'a jamais été essayée en forêt. Sur quelques points, elle est entrée dans les règles de l'exploitation forestière. Je pourrais citer, par exemple, le système dernièrement préconisé par MÜLLER, des *fossés horizontaux*, comme nous le voyons employé dans maints vieux peuplements de chênes du Palatinat bavarois situés sur des pentes, et particulièrement dans les peuplements de pin sylvestre des montagnes du Haardt du Palatinat végétant sur des sols maigres de grès bigarré épuisé par un soutrage excessif.

Les *fossés horizontaux* (1) ont surtout pour but d'empêcher l'écou-

1. Il est probable que les premiers essais d'irrigation en forêt sur des peuplements constitués, du moins les premiers essais conçus dans un esprit scientifique, sont ceux de M. CHEVANDIER DE VALDRÔME, à Cirey (Meurthe-et-Moselle). Ils remontent à 1810 et les résultats en ont été publiés dans un recueil qu'il n'est permis à personne de laisser de côté (*). Beaucoup d'auteurs allemands ont la regrettable habitude de négliger, dans la bibliographie, les littératures étrangères, ce qui diminue considérablement la portée de leurs écrits. MM. BÖHMERLE et CIESLAR ignorent les expériences anciennes de M. CHEVANDIER DE VALDRÔME ; ils ignorent également les beaux résultats obtenus par les Anglais dans les Indes sur des plantations irriguées

* *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, séance du 15 juillet 1844.



lement trop rapide des précipitations atmosphériques sur les pentes, par ce moyen, une grande partie de l'eau météorique est utilisée par le sol et la végétation qui le recouvre, et non seulement les inondations, fréquentes autrefois, sont contenues, mais — MÜLLER insiste particulièrement sur ce point — l'eau est maintenue dans le sol forestier.

Dans le Palatinat bavarois on a partout remarqué que dans les parcelles pourvues de fossés la végétation était plus belle. MÜLLER espère non sans raison que l'emploi de ces fossés d'arrêt fera grand bien aux peuplements rabougris de pins sylvestres du Haardt.

Le Dr ANDERLIND, dans sa brochure *Ein System von Mitteln zur Verhütung schädlicher Hochwässer*, discute l'emploi des cuvettes creusées dans les forêts de la ville de Cava, près de Salerne. Presque à chaque souche de châtaignier dans ces forêts, situées en pentes raides, on a creusé une cuvette qui empêche le rapide écoulement des eaux de pluie et les utilise à la croissance du bois. Aussi les forêts de Cava se distinguent par leur végétation luxuriante. Nous pouvons encore dans ce cas parler d'une irrigation en forêt.

A ce même sujet appartient bien encore l'arrosage des planches de semis et de jeunes plants dans les pépinières. Déjà, depuis 1889, j'entreprends à Mariabrunn sur une petite échelle des recherches exactes et j'en ai publié les résultats dans le *Centralblatt für das gesammte Forstwesen*, 1893, p. 24-38. Sur un sol nu, non ameubli, l'arrosage a augmenté la production ligneuse de 15 °/₀.

Lorsque la station forestière autrichienne eut résolu de faire des recherches sur l'irrigation, elle voulut expérimenter non seulement sur

---

de teck et de Dalbergia dont l'école forestière de Nancy possède de magnifiques spécimens.

Citons seulement la conclusion du sagace expérimentateur français auquel la science forestière est redevable de plusieurs travaux d'importance capitale. « Si on représente par 1 l'accroissement annuel d'un sapin dans les terrains fangeux du grès vosgien, cet accroissement correspondra, à très peu de chose près, à 2 dans les terrains secs, à 4 ou 5 pour les terrains disposés de manière à recueillir les eaux de pluie qui s'écoulent des chemins ou des pentes supérieures, et à plus de 6 pour les terrains où l'infiltration des eaux des ruisseaux entretient une fraîcheur permanente. » Il préconise précisément les *fossés horizontaux* longtemps avant le forestier allemand (MÜLLER) cité plus haut. Ces fossés, de 75 centimètres à 1 mètre de largeur et de profondeur, coûtaient à établir 7 cent. par mètre courant, soit en moyenne 40 fr. par hectare.



un peuplement naturel assez âgé, mais encore sur une plantation. La situation de la pineraie de Grossen lui parut particulièrement favorable pour ces essais. Le sol formé de ***Kalkschotter*** diluvial est très pierreux et sec. Les analyses mécaniques précédemment faites par le Dr Hoppe dans un peuplement de pin noir voisin de la surface irriguée ont montré que le sol jusqu'à une profondeur de 12 à 15 centimètres contenait en moyenne 53 °/₀ de pierres et seulement 47 °/₀ de terre fine passant au tamis d'un millimètre. Plus on s'enfonce dans le sol, plus il y a de pierres et, à une profondeur de 45 à 50 centimètres, on trouve une couche de conglomérat absolument impénétrable aux racines et très peu perméable. Donc les peuplements forestiers sont installés sur un sol peu profond assez pauvre en eau, même après une courte période de sécheresse.

Le sol nu de cette pineraie se couvre bien vite après l'exploitation d'une végétation buissonnante et d'un épais tapis d'herbe qui agit défavorablement sur l'humidité du terrain. Les faibles pluies mouillent à peine le sol et des pluies plus importantes sont bientôt perdues pour lui à cause de l'active transpiration du tapis végétal.

La lame d'eau moyenne observée depuis de longues années à Wiener-Neustadt, éloigné seulement de quelques kilomètres, atteint 582 millimètres.

L'hiver est particulièrement pauvre en pluie si bien que le sol ne peut emmagasiner une humidité hivernale abondante. La somme des précipitations de mai, juin, juillet, août, atteint en moyenne 304 millimètres.

La parcelle d'expérience est située dans le canton Grasseln, non loin de la parcelle irriguée dont mon collègue Böhmerle vient de donner les résultats.

A quelques mètres de cette parcelle, coule vers le nord le ruisseau Feuerbachel auquel on emprunte l'eau nécessaire. Une moitié (I) est irriguée ; l'autre moitié (II) n'a reçu aucune irrigation artificielle. Chacune de ces deux surfaces porte, sur une moitié, des pins Weymouth et sur l'autre des épicéas. Dans chacune de ces quatre divisions il y avait quatre cents plants disposés en quadrillage à 80 centimètres. Cette plantation, extraordinairement serrée, avait pour but, — abstraction faite du désir d'obtenir rapidement un

peuplement fermé — d'établir le plus opportunément de nombreux sujets d'observation sur une surface aussi faible que possible.

En prenant le pin Weymouth on voulait étudier une essence qui, avec une croissance extrêmement rapide, pût améliorer le sol à un haut degré et permettre d'obtenir bien plus rapidement qu'avec le pin noir du bois utilisable. Le *Pinus Strobus* n'a pas répondu jusqu'alors à cette attente. Quant à l'épicéa qui, on le comprend, n'est pas à sa place dans les stations sèches de la pineraie de Neustadt, il s'agissait de savoir si cette essence ne pourrait pas donner des résultats satisfaisants en l'exploitant à une assez courte révolution et en l'irriguant fortement dans les points nombreux de la forêt qui se prêtent facilement à l'irrigation artificielle.

Les parcelles en expérience furent entourées d'un treillis en fil de fer pour les protéger contre les dégâts du gibier. La rigole principale avait une profondeur d'environ 30 centimètres et, à 15 ou 20 centimètres plus bas que le fond de cette rigole, on trouvait la couche de conglomérat absolument impénétrable aux racines et très peu à l'eau. Il y avait une rigole principale pour les pins Weymouth et une autre pour les épicéas, toutes deux perpendiculaires au canal d'irrigation et de ces deux rigoles principales se détachaient, normalement à leur direction, dix paires de rigoles latérales éloignées chacune de 1^{m},60. Pour irriguer on ouvrait d'abord l'écluse de gauche correspondant aux pins Weymouth ; quand ils étaient suffisamment imbibés, on levait l'écluse de droite correspondant aux épicéas.

L'irrigation de chacun des deux lots ne se faisait pas en une seule fois, mais d'ordinaire en trois reprises, de façon que les dix bandes fussent arrosées progressivement et que l'eau restât dans les rigoles pendant environ huit à quinze minutes.

Les irrigations avaient lieu de la même façon que dans le peuplement naturel dont M. Böhmerle vient de parler, et toujours quand il n'avait pas plu depuis deux ou trois jours. Dans les grandes périodes de sécheresse, on arrosait tous les trois jours. On commençait à verser l'eau en mai et on continuait jusqu'à fin septembre ; on aurait parfaitement pu cesser à la mi-septembre.

La plantation des parcelles en expérience eut lieu du 12 au 15 avril 1901 avec des plants d'épicéa de trois ans repiqués et des pins Wey-

mouth de quatre ans également repiqués et qu'on planta dans des trous faits à la houe. Comme le sol était très enherbé, meuble et presque dépourvu de pierres, la plantation alla très vite. La hauteur moyenne des plants était de 17cm,7 pour l'épicéa et de 11cm,8 pour le pin Weymouth.

Une série de jours froids et pluvieux suivit la plantation jusque dans le mois de mai ; à partir du 10 mai, la température devint définitivement plus belle et plus chaude. C'est alors que commencèrent les irrigations régulières.

Mentionnons que l'état du pin Weymouth était peu satisfaisant, ce qui peut s'expliquer par ce fait que les racines étaient en partie mangées par le ver blanc. Déjà, à la fin de mai de l'année de la plantation, trente plants moururent dans la parcelle irriguée et vingt-cinq dans l'autre.

Dans la première année (1901) l'irrigation se fit aux jours suivants :

Mai	13	15	18	21	24	27	30				7
Juin.	2	5	8	11	14	16	19	23	26	29	10
Juillet	3	6	10	13	16	19	22	25	28	31	10
Août.	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	10
Septembre . .	2	5	8	20	23	27					6
						Total					43

Et, si l'on retranche de ce total les irrigations du mois de septembre, pendant lequel il n'y a plus d'accroissement, on arrive à un total de trente-sept fois.

Ces irrigations répétées témoignent d'un été sec, comme le montrent aussi les observations ombrométriques de la station météorologique de Neustadt.

Celles-ci ont donné, pour les mois de mai, juin, juillet et août 1901, une lame d'eau de 217 millimètres seulement, qui est inférieure de 304 millimètres à la moyenne obtenue pendant de nombreuses années.

Dans ces conditions on aurait dû s'attendre à trouver dans la partie irriguée une végétation plus active ; mais on ne remarqua pas de différence à l'automne de 1901 entre la parcelle irriguée et l'autre.

L'influence favorable de l'eau pendant la première année d'essai

se traduisit seulement par une moindre proportion de plants morts dans les parties irriguées. Quant à l'accroissement en hauteur il fut sensiblement le même dans les deux parcelles pour l'épicéa ; pour le pin Weymouth il fut même plus fort dans la parcelle témoin.

La première année d'irrigation (1901) fut, pour ainsi dire, sans résultat.

En 1902, la hauteur des plants dans les deux parcelles — irriguée et non irriguée — fut encore sensiblement la même qu'en 1901 ainsi que la proportion de plants morts.

Les épicéas irrigués sont seulement un peu plus beaux à l'œil. Les grandes précipitations atmosphériques des mois de mai, juin, juillet, si importants pour le développement de la végétation, semblent avoir masqué les résultats que l'on attendait de l'irrigation.

En 1903 les épicéas irrigués avaient une belle teinte d'un vert foncé, tandis que les épicéas non irrigués s'étaient moins bien développés. Les années 1903 et 1904 ne donnèrent pas non plus de résultats bien nets au point de vue de la hauteur des plants. L'été de 1904 fut particulièrement sec ; on dut pratiquer quarante-quatre irrigations et commencer dès le mois d'avril. Le taux des plants morts de soif cette année-là fut énorme dans les parcelles témoins, tandis que dans les surfaces irriguées la sécheresse exceptionnelle de 1904 ne causa pas de désastre.

On peut dire seulement que l'épicéa, qui demande des sols frais pour végéter convenablement, peut montrer une belle croissance sur des sols secs, et même très secs, grâce à une irrigation convenable.

La question se pose aussi de savoir s'il n'y aurait pas avantage à arroser les stations dites « maigres » où l'on cherche à stimuler, par l'emploi des engrais verts ou minéraux, des peuplements restant stationnaires.

Les frais nécessaires pour l'irrigation en forêt ne permettront de l'y employer que dans les circonstances où on peut l'installer facilement et où l'on espère pouvoir lutter avec succès contre un danger pressant.

Dr Cieslar.



VINGT ANNÉES D'EXPÉRIENCES

SUR

L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT[1]

Par L. GRANDEAU et A. ALEKAN

I. — Historique sommaire de la question

Émile Baudement, né à Paris en 1816, peut à bon droit être considéré comme l'un des fondateurs de la science de l'alimentation du bétail, Professeur à l'institut agronomique de Versailles, il y créa l'enseignement de la zootechnie basé sur la physiologie. Lorsque, au grand détriment de l'agronomie et de l'agriculture, des vues mesquines provoquèrent la disparition de cette grande école, Baudement fut nommé, au Conservatoire des arts et métiers, titulaire d'une chaire créée pour lui sous le titre « Zoologie appliquée à l'agriculture et à l'industrie », chaire qu'il occupa brillamment jusqu'à sa mort prématurée, survenue en 1863. Il avait quarante-sept ans à peine et laissait inachevé son grand ouvrage sur les races bovines; mais il avait posé les principes des recherches expérimentales qui devaient conduire, en France et à l'étranger, à formuler les règles scientifiques de l'alimentation des animaux domestiques.

1. Nous avons réuni, mon collaborateur Alekan et moi, dans un Album de format grand aigle, sous forme de graphiques et de tableaux accompagnés de notices explicatives, les résultats de nos *Vingt premières années d'expériences sur l'alimentation du cheval de trait*. On peut se procurer cet Album, édité par la Compagnie générale des voitures, en s'adressant au laboratoire de la Compagnie, 91, rue du Ruisseau, ou à a Librairie agricole, 26, rue Jacob. — Prix : 40 fr., *franco* de port et d'emballage.



« L'alimentation du bétail, écrivait-il, est le problème capital de la zootechnie, le plus important et le plus difficile à résoudre ; c'est, à vrai dire, la zootechnie tout entière. »

On peut dire, sans courir le risque d'être taxé de chauvinisme, que la science de l'alimentation, pressentie par Lavoisier, étayée par les recherches de Baudement et de Boussingault, pour ne parler que des morts, est d'origine française; leurs continuateurs, en France et à l'étranger, ont définitivement assis sur des bases solides les règles qui doivent présider à la fixation des divers régimes alimentaires du bétail, suivant les buts à atteindre dans l'élevage et dans l'exploitation des animaux des races chevaline, ovine, bovine et porcine. Je m'arrêterai spécialement, dans cet historique, à l'alimentation du cheval de service.

Il importe, pour permettre au lecteur de saisir l'importance des progrès réalisés depuis un quart de siècle dans l'ordre des faits que nous aurons à exposer, de préciser quel était, vers 1870, époque à laquelle ont commencé nos études, l'état plus ou moins empirique du régime alimentaire du bétail et particulièrement du cheval.

En ce qui concerne ce dernier, on n'employait guère alors pour composer sa ration que trois denrées : foin, paille, avoine. Les deux premières étaient d'ordinaire distribuées dans le râtelier du cheval, en quantités de 3 à 6 kilogr., suivant la taille de l'animal. La plupart du temps, la quantité de paille devait suffire à la nourriture et au litiérage du cheval, les deux modes d'utilisation étant confondus. Quant à l'avoine, on la distribuait tantôt au poids, tantôt au volume.

Pour aucune de ces denrées, on ne basait la distribution sur des analyses préalables, étant admis implicitement partout, que les termes foin, paille et avoine correspondaient à des produits de valeur alimentaire identique, ou tout au moins très voisins, quelle qu'en fût l'origine.

Il résultait de ces pratiques une inégalité extrême, comme je le montrerai, plus loin, dans la valeur alimentaire de la ration. Celle-ci n'était appréciée que par l'*état* des animaux.

En 1870, les idées régnantes sur l'origine de la force musculaire et, par suite, sur les conditions de la production du travail des animaux et sur les moyens d'y satisfaire par l'alimentation, étaient enta-

chées d'une erreur capitale qu'ont mise en lumière les expériences des physiologistes. Partant de ce fait que les muscles, essentiellement constitués par des matières azotées, sont les organes du mouvement et de la traction, on en avait conclu arbitrairement que dans les substances azotées réside l'origine de la force, la source du travail du cheval, par conséquent. De cette conception erronée découlait la conclusion que plus on demande de travail à un cheval, plus on doit augmenter, dans sa ration, la quantité de matière azotée. Des trois éléments qui composaient la ration du cheval, l'avoine étant de beaucoup la plus riche en cette matière, on était amené à accroître la quantité de grain dans la ration pour ainsi dire proportionnellement à l'augmentation de l'effort musculaire qu'on demandait à l'animal. Nos lecteurs savent que si le muscle est l'instrument du travail, il n'en est point la source, celle-ci résidant essentiellement dans la combustion de la matière sucrée (glycogène) que le sang apporte au muscle et qui s'y renouvelle incessamment par l'afflux de ce liquide.

En résumé, à l'époque déjà lointaine (1871) où M. Maurice Bixio a fait appel à mon concours pour l'étude des modifications à introduire dans le régime alimentaire de la cavalerie de la Compagnie générale des voitures, dont il venait de prendre la direction, la situation pouvait se résumer comme suit :

1° Alimentation exclusive en avoine, paille et foin, sans détermination préalable par l'analyse de la composition de ces denrées ;

2° Distribution de l'avoine au litre et non au poids ;

3° Admission d'une relation plus ou moins étroite entre la matière azotée de la ration et le travail demandé à l'animal.

L'avoine étant l'élément dominant de la ration, dans laquelle elle entrait alors pour plus de moitié, le premier point qui devait attirer notre attention était la composition de ce grain et les variations qui pouvaient exister dans la valeur alimentaire de la ration, suivant : 1° qu'on y utilisait des avoines de diverses provenances ; 2° qu'on basait la composition de la ration sur le poids ou sur le volume du grain qu'on y faisait entrer.

Le rationnement *au volume*, trop fréquemment usité aujourd'hui encore dans certaines écuries, repose sur cette idée fausse qu'un

hectolitre d'avoine pèse en moyenne 50 kilogr. et que, par suite, 16 litres d'avoine par exemple, correspondent à 8 kilogr. de grain. Étant, de plus, admis que l'avoine présente toujours à peu près la même composition, on croit distribuer au cheval le même poids de substances nutritives en lui donnant un volume invariable, 16 litres par jour dans l'exemple que j'ai choisi, d'une avoine quelconque, saine et de bonne qualité marchande.

Il suffira de quelques chiffres pour montrer les erreurs dans lesquelles on tombe soit en donnant l'avoine au litre, soit en la donnant au poids, sans se préoccuper du poids naturel et de la composition réelle des grains (1).

Au mois de novembre 1874, M. Bixio envoyait au laboratoire de la Station agronomique de l'Est huit échantillons d'avoines de provenances très diverses et de poids naturels très différents, en me priant d'en faire l'analyse. Dans sa lettre d'envoi, M. Bixio me disait :

« Le problème que ces analyses ont pour but de résoudre est celui-ci : les avoines de qualités inférieures pour nous, avoines légères, *dont le poids naturel est faible,* sont-elles aussi nourrissantes *à poids égal* que les avoines réputées bonnes par nous, c'est-à-dire à poids naturel élevé ? ou, autrement dit, *1 kilogr. d'avoine légère* contient-il autant de *matières azotées* qu'un kilogramme d'*avoine lourde ?* »

Les huit échantillons se classaient, par ordre de poids naturel, de la façon suivante :

PROVENANCE	POIDS NATUREL de l'hectolitre en kilogrammes
N° 1. Avoine grise du Poitou	51,1
N° 2. — noire de Suède	50,5
N° 3. — de Bretagne	50,0
N° 4. — Beauce de Chartres	45,9
N° 5. — noire de Brie	44,0
N° 6. — noire d'Irlande	44,0
N° 7. — blanche de Russie	43,5
N° 8. — couleur de Bourgogne	41,2

1. Je renverrai le lecteur, pour l'exposé et la discussion de ces questions, aux *Rapports sur les travaux du laboratoire de recherches en 1879*. In-4°, Librairie agricole.

D'après la teneur en matière azotée, l'analyse leur a assigné le classement suivant :

	PROVENANCE	MATIÈRE AZOTÉE
N° 1.	Avoine Beauce de Chartres	10,56 °/o
N° 2.	— noire d'Irlande	10,38
N° 3.	— couleur de Bourgogne	10,06
N° 4.	— de Bretagne	10,00
N° 5.	— blanche de Russie	9,92
N° 6.	— noire de Brie	9,80
N° 7.	— noire de Suède	9,74
N° 8.	— grise du Poitou	9,45

En comparant ces deux tableaux, on voit qu'il n'existe aucun rapport entre le poids naturel de ces avoines et leur valeur nutritive, l'avoine la plus lourde (grise du Poitou, 51 kilogr. à l'hectolitre) passant au dernier rang pour la richesse en matière azotée, tandis que l'avoine de Beauce (45kg,9), la noire d'Irlande (44 kilogr.) et la couleur de Bourgogne (41 kilogr.) viennent en tête du tableau de la valeur nutritive.

En poursuivant cette étude au laboratoire de recherches de la compagnie [1], nous avons constaté que des avoines d'un poids naturel variant de 32 à 51 kilogr. par hectolitre, soit 19 kilogr. d'écart, avaient une teneur *égale* en matière azotée. En consultant le tableau dans lequel j'ai réuni [2] les poids naturels et la composition de cinquante échantillons d'avoine de provenances diverses, on constate que 100 kilogr. d'avoine n° 1, dont le poids de l'hectolitre est de 32 kilogr., représentent 312l,5 de grain, tandis que 100 kilogr. de l'avoine n° 51 ne correspondent qu'à 195l,6. On voit, de plus, d'après les analyses que :

		MATIÈRES azotées
10 litres d'avoine n° 1	renferment	354 grammes
10 litres d'avoine n° 26	—	512 —
10 litres d'avoine n° 40	—	530 —

1. Voir *Alimentation des chevaux dans les grandes écuries industrielles.* Rapport adressé au conseil de la Compagnie générale des voitures, par M. Bixio, président, in-8°, 1878. Librairie agricole de la maison rustique.

2. *Travaux, loc. cit.*

d'où un écart maximum allant à 180 grammes de matières azotées par 10 litres d'avoine.

La question dès ce moment nous a paru entièrement résolue : il est impossible, on le voit, de tirer du poids naturel d'une avoine quelques conclusions concernant sa valeur nutritive ; l'analyse seule peut nous faire connaître cette dernière, et le rationnement au volume est absolument condamné.

Cette démonstration péremptoire de la nécessité de l'analyse préalable des denrées devant entrer dans la ration du cheval, a été le point de départ de la création du laboratoire de recherches, annexe de la manutention de la Compagnie générale des voitures, qui a permis l'introduction, si favorable à tous égards, du principe des substitutions dans le régime alimentaire de la cavalerie de cette grande écurie industrielle.

II. — La manutention et le laboratoire des recherches de la Compagnie générale des voitures

Je viens de montrer que la connaissance de la composition d'un aliment, de l'avoine que j'ai prise comme exemple, est indispensable pour déterminer le poids du grain qui devra entrer dans la ration du cheval ; on en peut dire autant de toutes les denrées appelées à remplacer l'avoine ou de tout autre élément d'une ration alimentaire. Ces remplacements, auxquels on donne le nom de *substitutions,* sont devenus la base de tous les progrès dans l'alimentation du bétail, et leur introduction dans les écuries industrielles, telles que celles de la Compagnie générale des voitures et de la Compagnie des omnibus, a permis à ces grandes sociétés de réaliser des économies considérables sur la nourriture de leurs cavaleries tout en améliorant l'état des chevaux et leur rendement en travail.

A la suite de nos longs entretiens au sujet de l'alimentation des chevaux de service, s'appuyant sur les nombreuses analyses exécutées de 1871 à 1878 au laboratoire de la Station agronomique de l'Est, et sur les premières applications très heureuses du rationnement du cheval, basé sur les résultats de ces analyses, qui avaient permis d'entrer dans la voie des substitutions, l'éminent directeur de la Compa-

gnie générale des voitures, M. M. Bixio, a exposé à son conseil [1] la nécessité absolue d'assurer à la compagnie une direction scientifique, de créer un laboratoire d'analyses et d'expériences, et d'édifier, en vue d'une préparation rigoureuse de la ration, la manutention centrale chargée d'assurer l'exacte distribution des quantités fixées pour l'alimentation de chaque cheval.

Le conseil de la compagnie ratifiant ces propositions, la création de la manutention et du laboratoire de recherches de la rue du Ruisseau a été décidée et mise immédiatement à exécution.

Le laboratoire de recherches a été fondé à Paris en 1879, dans le but d'appliquer à l'alimentation du cheval de trait les données de la chimie et de la physiologie, et de tirer de cette application, d'une part, des déductions scientifiques d'ordre général, de l'autre, des conclusions pratiques de nature à intéresser la Compagnie des voitures. Antérieurement à cette création, ainsi que je viens de le dire, la Compagnie générale avait déjà adopté, pour l'alimentation de sa nombreuse cavalerie, la méthode des substitutions rationnelles. Les résultats très favorables, obtenus de 1872 à 1878, par l'application de cette méthode, basée uniquement sur la valeur nutritive des fourrages, décidèrent le conseil d'administration de la compagnie à établir, en même temps qu'une manutention générale pour les denrées nécessaires à toute sa cavalerie, un laboratoire d'analyses, pourvu d'une écurie expérimentale et des appareils nécessaires pour les recherches sur l'alimentation des moteurs animés.

En créant ces divers services, la Compagnie générale a voulu faciliter l'application rigoureuse, à toute sa cavalerie, de la méthode des substitutions rationnelles; mettre en œuvre, d'une façon industrielle, un système alimentaire dont l'expérience lui avait permis d'apprécier les nombreux avantages, et ouvrir largement la voie aux améliorations à apporter dans l'alimentation du cheval de service, en faisant collaborer à cette œuvre la science et la pratique.

Le système d'alimentation de la Compagnie générale présente trois caractères particuliers :

1° Tous les fourrages sont analysés ;

---

1. Rapport de 1878, déjà cité.

2° Ils ne sont distribués qu'après avoir subi un nettoyage complet;

3° Ils ne sont consommés qu'après avoir été mélangés aussi intimement que possible.

Le nettoyage des denrées fourragères a été reconnu indispensable, par suite de la constatation, faite depuis longtemps, que tous les fourrages, même ceux que le commerce regarde comme loyaux et marchands, renferment toujours une notable proportion d'impuretés diverses, et que l'ingestion de ces substances étrangères présente de grands dangers pour la santé des animaux, comme l'ont montré de nombreuses autopsies de chevaux morts de coliques. Aussi le conseil de la compagnie n'a-t-il pas hésité à installer, à la manutention, des appareils spéciaux permettant de faire subir aux grains un nettoyage aussi parfait que possible.

La manutention, qui est chargée de la réalisation pratique du système alimentaire de la compagnie, doit donc, en résumé :

1° Recevoir toutes les denrées nécessaires à la cavalerie;

2° Les nettoyer mécaniquement;

3° Les préparer en vue de la fabrication des rations (aplatissage, concassage, hachage);

4° Les mélanger à l'aide de moyens mécaniques;

5° Ensacher le mélange, le répartir entre les divers dépôts de cavalerie, et le transporter journellement aux lieux de consommation;

6° Conserver, en silos, les denrées qui ne sont pas consommées tout de suite.

Rôle du laboratoire vis-à-vis de la manutention. — Pour que les rations des dix mille chevaux de la compagnie aient une valeur nutritive réellement constante, quelles que soient les denrées employées, il est indispensable que la manutention soit renseignée journellement sur la composition de ces denrées : à cet effet, elle adresse chaque jour au laboratoire un échantillon de tous les fourrages reçus, et d'après la composition chimique déterminée par l'analyse, le laboratoire établit la proportion dans laquelle chaque fourrage doit entrer dans le mélange. On voit, d'après cela, que l'analyse chimique et la détermination de la valeur nutritive des ali-

ments sont les bases de l'établissement des rations de la compagnie; elles étaient d'ailleurs les seules à adopter, dès l'instant où la compagnie repoussait pour les raisons que j'ai exposées précédemment les deux modes de rationnement, soit en volume, soit en poids, comme conduisant à distribuer des rations de richesse trop variable, suivant les denrées d'abord, et, pour un même fourrage, suivant la provenance et l'année de la récolte.

L'exposé précédent suffit à faire comprendre le rôle de première importance que joue le laboratoire dans l'organisation créée par la compagnie.

On peut dire, d'une façon générale, que ce rôle consiste :

1° A vérifier la qualité et à déterminer la valeur nutritive des fourrages destinés à la cavalerie de la compagnie. A l'heure actuelle, le laboratoire a exécuté plus de vingt-cinq mille analyses de fourrages divers pouvant être consommés par le cheval;

2° A fixer et à modifier les rations suivant le prix des fourrages, tout en leur conservant la même valeur nutritive, c'est-à-dire à établir une ration de valeur alimentaire maximum et de prix de revient minimum;

3° A fournir les indications nécessaires à la bonne conservation des grains dans les silos de la manutention;

4° A établir, par des expériences directes sur le cheval, la valeur alimentaire de chaque fourrage, consommé isolément ou en mélange, en se plaçant dans des conditions aussi variées que celles des chevaux du service de place (repos, marche, travail à différentes allures).

Nous disposons au laboratoire d'une écurie expérimentale organisée pour la récolte intégrale des fèces et de l'urine, et d'un manège dynamométrique destiné à mesurer le travail du cheval dans différentes conditions. Comme le laboratoire, l'écurie d'expériences et le manège ont été installés d'après mes indications; j'ai également arrêté le plan général des expériences et j'en ai dirigé l'exécution depuis 1879 jusqu'à ce jour. Plusieurs collaborateurs ont participé à cette œuvre de longue haleine, et, parmi eux, je tiens à rappeler les noms de A. Leclerc et H. Ballacey, tous deux disparus prématurément, et qui ont dirigé le laboratoire, le premier de 1879 à 1890, le second de 1890 à 1894, époque à laquelle M. Alekan a succédé à Ballacey.

En 1868, la ration des chevaux de la compagnie était exclusivement composée d'avoine, de foin et de paille; son prix de revient était, par jour, de 2 fr. 70. En 1904, le coût de la ration, par suite des substitutions de denrées auxquelles ont conduit nos expériences au laboratoire de recherches, n'a été que de 1 fr. 175.

De la comparaison de ces chiffres, résultent pour la dépense annuelle de la ration du cheval les constatations suivantes :

En 1868, la ration de l'année coûtait, par tête.	967 fr.
En 1904, elle ne coûtait que	429
D'où une économie, par cheval, de	538 fr.

Rapportée à une écurie industrielle comptant dix mille chevaux, la dépense par année a été :

En 1868.	9 670 000 fr.
En 1904, elle ne s'est élevée qu'à.	4 287 000
L'économie réalisée est de.	5 382 000 fr.

L'introduction du principe des substitutions et la fixation des rations, d'après les résultats des expériences du laboratoire de recherches sur l'alimentation du cheval de trait, ont été les principaux facteurs de ce résultat économique, sur l'importance duquel il me paraît inutile d'insister.

Toute proportion gardée, les cultivateurs, les éleveurs et les propriétaires de chevaux trouveront, dans l'adaptation à leur cavalerie des faits étudiés au laboratoire de recherches de la Compagnie générale, de sérieux avantages.

III. — But, plan et exécution des expériences sur l'alimentation du cheval de trait

L'installation du laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voitures a été terminée en 1880. En en prenant la direction générale, j'ai tracé le programme des recherches expérimentales qui, commencées immédiatement, ont été poursuivies sans interruption jusqu'aujourd'hui. Nous comptons donc actuellement vingt-cinq

années d'expériences sur l'alimentation rationnelle du cheval de service, dans les divers états par lesquels il passe : repos, travail au pas et travail au trot.

J'ai été assez heureux pour m'associer, depuis vingt-cinq ans, des collaborateurs aussi distingués que dévoués. Grâce au labeur incessant de Leclerc, de Ballacey et de M. Alekan, très bien secondé par M. Alquier, le laboratoire a pu faire face aux nécessités de la manutention et mener à bonne fin seize séries d'expériences complètes sur l'utilisation de rations composées de fourrages variés. C'est à mes chers collaborateurs que revient la plus grande part des progrès que nous avons pu réaliser dans l'étude de l'alimentation du cheval.

Avant d'aborder l'exposé sommaire de cette longue série d'expériences et d'en dégager les faits utiles à connaître par les agriculteurs, je crois utile d'indiquer brièvement leur but, leur plan général et leur mode d'exécution :

Le but principal des expériences d'alimentation a été de déterminer la composition que doit avoir la ration des chevaux de la compagnie, pour leur permettre de s'entretenir dans les meilleures conditions économiques, tout en effectuant leur travail journalier.

Pour remplir ce programme, nous avons d'abord étudié, en bloc, la valeur alimentaire du mélange que recevaient les chevaux à l'époque où les expériences ont commencé, c'est-à-dire en 1880; puis successivement, de 1880 à 1892, chacun des éléments de ce mélange : foin, avoine, maïs, féverole et tourteau. A partir de cette époque, la Compagnie générale ayant été obligée d'utiliser les aliments industriels en plus grande proportion, par suite de l'augmentation de prix des grains et des fourrages, le laboratoire a étudié l'alimentation aux pommes de terre, celle à la maltine, puis aux granules, pour revenir en 1897 à une nouvelle étude du mélange distribué, à cette date, à la cavalerie, ce mélange différant sensiblement, par sa composition, de celui qu'on utilisait en 1880 [1]. Enfin, depuis 1898, les expériences ont porté sur le rôle du sucre dans l'alimentation chevaline. Tel a été l'enchaînement des divers essais effectués de 1880 à 1904.

---

1. Voir les *Annales de la science agronomique française et étrangère,* 1884, t. II; 1885, t. I; 1886, t. II; 1888, t. II; 1892, t. I; 1893, t. I; 1896, t. II.



Dans chaque expérience, on a étudié, pour les diverses situations où pouvaient se trouver les chevaux de service de la compagnie : — repos, marche, travail à différentes allures, — les questions relatives à la composition et à la digestibilité des rations, à la statique de l'eau et à celle de l'azote ; on a mesuré le travail mécanique effectué, en mettant en parallèle les variations de poids vifs éprouvées par les animaux en expérience.

Le mode d'exécution des expériences a consisté, en principe, à choisir, comme sujets d'expériences et pour chaque mode d'alimentation, trois chevaux aussi comparables que possible entre eux et avec l'ensemble de la cavalerie de la compagnie, et à observer ensuite ces animaux, chacun pendant un mois au minimum, dans les diverses situations de repos, marche au pas et au trot, travail au manège au pas et au trot, travail à la voiture vide et chargée.

Ce sont là les conditions typiques dont on a cherché à se rapprocher le plus possible ; mais il a fallu parfois s'en écarter plus ou moins, ce qui s'explique, si l'on songe à la variété des essais, à leur durée, aux difficultés de toute sorte provenant soit des animaux, soit des aliments, soit des instruments de mesure employés ou même des circonstances climatériques.

En récapitulant l'ensemble des expériences exécutées de 1880 à 1899, on constate qu'elles ont porté sur trente chevaux hongres, pesant de 400 à 500 kilogr. et représentant, par leur origine, leur âge et leur conformation générale, les types moyens des chevaux de service de la compagnie.

C'est dans ces conditions que, pendant des périodes variant de un mois à deux ans, pour un même régime alimentaire, on a journellement déterminé les éléments ci-dessous :

1° Poids des boissons et des aliments consommés ; 2° composition chimique des aliments ; 3° quantité et nature des produits éliminés (urines, fèces, poils, corne, sueur) ; 4° chemin parcouru dans chaque expérience ; vitesse et quantité de travail effectué ; 5° variations de poids vif des animaux d'expérience ; 6° observations thermométriques et hygrométriques.

Les indications précédentes font ressortir, je pense, assez nettement, la marche générale, à la fois scientifique et pratique, des

expériences du laboratoire ; quant aux résultats obtenus, je me bornerai pour l'instant à faire remarquer que l'application journalière qui en est faite à la Compagnie générale sur plus de dix mille chevaux est une preuve décisive de la confiance qu'on peut leur accorder.

Un des points les plus importants de nos études est la démonstration des modifications que l'on peut apporter dans le rapport des matières azotées aux matières hydrocarbonées dans la constitution des rations alimentaires des animaux et, en particulier, du cheval. En 1880, comme je l'ai dit précédemment, au moment où ont été instituées nos recherches expérimentales, on admettait, presque comme un axiome, que la ration d'entretien devait être composée d'une partie en poids de matières azotées et de cinq à six parties de substances hydrocarbonées (amidon, fécule, sucre, etc.). La ration de travail devait présenter un rapport plus étroit : un de matières azotées pour quatre ou cinq au plus d'hydrocarbonés. Nos expériences ont montré, dès le début, que la ration de travail devait, au contraire, être beaucoup plus riche en éléments hydrocarbonés que la ration d'entretien. Nous avons pu avec grand avantage, au point de vue du travail effectué et de l'état du cheval, comme je le montrerai bientôt, étendre la relation nutritive à 1/8, 1/12, 1/15 et même 1/22 (dans l'alimentation au sucre). La conséquence économique de ces faits est aisée à saisir, le prix vénal du kilogramme de matière azotée dans les fourrages étant toujours beaucoup plus élevé que celui du même poids d'aliment hydrocarboné.

Je pense que les propriétaires de chevaux peuvent faire grand profit de cette observation.

IV. — Prix moyens des denrées consommées de 1880 à 1899

Un des facteurs essentiels du coût de la ration alimentaire est le prix des denrées qui servent à la constituer. Ce prix entre naturellement au premier chef en ligne de compte dans l'étude des substitutions qu'on peut faire *économiquement* d'un aliment à un autre.

C'est l'indication des prix moyens pour chacune des années 1880 à 1899 des denrées consommées par la cavalerie de la Compagnie

générale des voitures à Paris, qui servira d'introduction au résumé des travaux du laboratoire. Nous passerons ensuite en revue, en partant du prix de revient du fourrage, le coût, dans chacun d'eux, des principes nutritifs dont ils sont formés : matières azotées, amidon et matières grasses.

Prix moyen de consommation des denrées par quintal (1880-1899).

ANNÉES	AVOINE	MAÏS	FÉVEROLE	FOIN	PAILLE	TOURTEAU	MALTINE	GRANULES
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1880. . . .	20 836	18 199	22 702	10 627	7 661	16 118	»	»
1881.	22 108	18 735	21 742	13 391	9 269	15 722	»	»
1882.	22 120	18 629	24 093	14 235	8 498	15 403	»	»
1883.	20 920	18 808	22 955	11 250	6 139	15 469	»	»
1884.	20 680	17 673	22 367	10 736	6 207	15 104	»	»
1885.	20 297	17 265	21 733	10 997	6 063	14 960	»	»
1886.	19 990	15 967	21 116	10 447	5 868	14 163	»	»
1887.	18 631	15 135	20 315	9 947	5 764	13 694	»	»
1888.	17 575	14 581	20 384	9 614	6 350	13 806	»	»
1889.	18 203	14 340	19 280	9 844	6 610	13 622	»	»
1890.	18 410	13 949	18 748	8 826	5 729	13 056	»	»
1891.	18 981	17 739	18 366	9 052	5 071	14 702	»	»
1892.	18 228	18 690	19 934	9 067	5 490	15 007	»	»
1893.	18 290	18 091	20 465	12 686	8 590	15 960	»	»
1894.	17 306	17 208	18 875	13 388	8 264	15 841	»	»
1895.	16 888	16 850	20 025	9 287	5 398	13 633	12 873	»
1896.	16 711	15 264	20 092	10 123	4 883	12 883	12 494	14 902
1897.	16 342	14 840	»	10 328	5 370	12 570	12 377	13 371
1898.	20 376	15 024	»	9 539	5 463	12 882	12 855	13 633
1899.	19 339	15 856	»	9 261	4 858	13 463	13 358	13 799

Ces prix, rapportés au quintal, ont été établis en tenant compte de tous les frais, c'est-à-dire les denrées étant amenées dans la mangeoire des chevaux ; aussi les a-t-on désignés sous le nom de : *Prix moyens de consommation*. Leur groupement permet de juger d'un coup d'œil les fluctuations du marché, pour une même denrée, pendant vingt ans et de comparer les prix des huit principales denrées utilisées par la compagnie.

On peut considérer les denrées énumérées dans ce tableau, comme formant trois catégories :

1° Les grains : avoine, maïs, féverole ;

2° Les fourrages : paille et foin ;

3° Les aliments industriels : tourteaux, maltine, granules.

Grains. — Si l'on range les trois espèces de grains utilisés, par ordre de prix décroissant, on obtient le classement ci-après : féverole, avoine, maïs.

A l'exception des années 1881 et 1891, la féverole a toujours coûté plus cher que l'avoine et le maïs, pendant la période de 1880 à 1896. Elle ne figure plus dans le tableau à partir de 1897, son emploi ayant été suspendu depuis cette époque. Son prix maximum a été atteint en 1882 (24 fr. 09) et son prix minimum (18 fr. 37) en 1891 ; le prix moyen de toute la période est de 20 fr. 77. Nous verrons plus tard que la cherté de la féverole n'en fait pas cependant une denrée désavantageuse ; en effet, pour juger de l'avantage réel que peut présenter l'emploi d'un aliment, il faut tenir compte non seulement de son prix sur le marché, mais encore de sa composition chimique.

L'avoine s'est, en général, maintenue à un prix intermédiaire entre les prix de la féverole et du maïs, sauf en 1892, où le maïs a été exceptionnellement cher. C'est, d'ailleurs, dans la période de 1892-1895 que le maïs s'est élevé à des prix très voisins de ceux de l'avoine, sous l'influence combinée de quelques mauvaises récoltes et des droits nouvellement mis en vigueur. L'avoine a atteint son prix maximum en 1882 (22 fr. 12), comme la féverole, et elle est descendue à un minimum de 16 fr. 34 en 1897, pour dépasser depuis cette époque le prix de 20 fr.

Quant au maïs, il a été relativement cher de 1880 à 1885 (maximum 18 fr. 81 en 1883) ; son prix s'est progressivement abaissé jusqu'en 1890, où il a été minimum (13 fr. 95) ; considérablement relevé de 1891 à 1895, il s'est maintenu ensuite aux environs de 15 fr. 50.

Si l'on établit la moyenne des prix annuels de 1880 à 1899, on trouve : pour l'avoine, 19 fr. 11 ; pour le maïs, 16 fr. 64.

Fourrages. — Les fourrages bruts consommés d'une façon régulière par la cavalerie de la compagnie ont été le foin et les pailles d'avoine et de blé. La consommation du foin a beaucoup perdu de son importance à la compagnie depuis que les expériences du laboratoire ont démontré combien cet aliment était mal utilisé par le cheval ; par contre, celle de la paille a suivi une marche inverse, et les données numériques réunies à propos de cette denrée ont d'autant plus d'intérêt qu'elles s'appliquent à des quantités considérables mises en consommation. Les prix moyens établis pour la paille s'appliquent à des approvisionnements mixtes de paille d'avoine et de paille de blé, dans lesquels cette dernière a toujours été en moins grande quantité, la paille d'avoine lui ayant été préférée comme plus savoureuse et plus recherchée par les chevaux.

Les prix maximum, minimum et moyen ont été les suivants :

	PRIX		
	maximum	minimum	moyen
Foin	14f,23	8f,83	10f,63
Pailles	9 ,27	4 ,86	6 ,83

En dehors des années 1881-1882 d'une part, 1893-1894 d'autre part, où la sécheresse a fait hausser les prix des fourrages d'une façon anormale, ces denrées n'ont pas éprouvé de variations considérables dans leurs prix.

Aliments industriels. — Ils sont au nombre de trois : les tourteaux, utilisés depuis 1880, la maltine depuis 1895, et les granules depuis 1896. Les tourteaux employés sont à base de maïs et d'orge ; la maltine est un résidu séché provenant du traitement du maïs en distillerie par le procédé au malt ; les granules sont des agglomérés fabriqués par la compagnie avec divers sous-produits industriels, qui sont mélangés dans des proportions réglées sur leur composition chimique et soumis ensuite à une véritable cuisson. La caractéristique de ces trois sortes d'aliments est leur teneur élevée en matières azotées et grasses ; l'intérêt tout particulier que présentent les granules provient de la facilité que l'on a d'utiliser seulement ainsi des sous-produits irréprochables et de faire varier la valeur

alimentaire du produit fabriqué avec la composition des aliments employés.

Les prix des trois aliments industriels consommés se sont toujours maintenus entre ceux des grains et des fourrages, en suivant assez régulièrement les variations de prix du maïs. Ainsi, en ce qui concerne les tourteaux, les prix ont graduellement diminué de 1880 à 1890, brusquement monté de 1891 à 1894, pour redescendre au minimum de 12 fr. 57 en 1897. Les prix moyens ont été :

Tourteaux.	14f,35
Maltine	12 ,80
Granules	13 .93

C'est la maltine qui a donc été la moins chère et c'est elle aussi dont les prix ont le moins varié.

Nous verrons, au cours de cette étude, quels aliments se sont montrés les plus économiques.

Voici quelques renseignements sur les aliments industriels.

Nous avons eu, M. Alekan et moi, l'occasion d'analyser beaucoup de produits industriels soumis par leurs producteurs à l'appréciation du laboratoire ; plusieurs de ces matières ont même été expérimentées. J'aurai occasion d'en parler plus tard. Mais jusqu'ici il n'est entré régulièrement dans la nourriture des chevaux de la compagnie que trois aliments industriels : la maltine, les tourteaux et les granules.

C'est précisément au sujet de ces trois produits que m'ont consulté beaucoup d'éleveurs, désireux d'en connaître la composition exacte, le prix vénal et le lieu de production ou d'achat. Pour compléter les indications qui précèdent, j'examinerai successivement chacun de ces aliments, répondant ainsi, je pense, aux desiderata exprimés par mes correspondants.

Je rappellerai d'abord que nous désignons sous le nom d'aliments industriels les substances qui, à l'inverse de la paille, des grains, du foin, ne se rencontrent pas à l'état naturel et sont des résidus ou sous-produits du traitement industriel de végétaux, en vue d'en retirer certaines matières, la plupart comestibles : telles qu'amidon et fécule, huile ou substances grasses, sucre ou alcool.

La maltine et les tourteaux appartiennent à cette catégorie, ce sont des résidus des industries qui traitent les grains : maïs, orge, seigle, etc., en vue de l'extraction de l'amidon ou de la transformation de cette dernière en alcool. Les granules diffèrent essentiellement de la maltine et des tourteaux par leur origine et leur mode de préparation, dont je parle plus loin.

Maltine. — On désigne sous ce nom le résidu séché de la transformation du maïs dans son traitement, en distillerie, par le malt (ou orge germée). La diastase de l'orge transforme en sucre, destiné à fournir ensuite de l'alcool par fermentation, l'amidon du grain de maïs. Ce dernier qui, à l'état naturel, contient une proportion d'amidon et congénères voisine de 68 à 70 °/₀ et 8 à 9 °/₀ de matière azotée (protéine brute), perd dans les traitements qu'on lui fait subir la plus grande partie de son amidon, et le résidu qui n'en renferme plus guère que 18 à 19 °/₀ se trouve enrichi, proportionnellement à cette perte, en matière azotée que les opérations subies par le maïs n'ont que très faiblement enlevée. De là, résulte un produit secondaire appelé maltine, dont voici la composition moyenne que je rapproche de celle du maïs :

	MALTINE — °/₀	MAÏS — °/₀
Eau	9,18	14,67
Matières sèches	90,82	86,13
Cellulose brute	4,12	3,03
Graisse	9,15	4,15
Matières azotées	25 à 26	9,25
Amidon	18,4	60,41

On voit, d'après ces chiffres, que la maltine, beaucoup moins riche en amidon que le maïs qui a servi à l'obtenir, est, en revanche, beaucoup plus riche que ce grain, en graisse et en protéine ; elle contient deux fois plus de matières grasses, et près de trois fois autant de matière azotée que le grain dont elle provient. La maltine constitue, en somme, un aliment concentré riche en les deux éléments nutritifs du prix le plus élevé (au kilogramme) dans les fourrages, protéine et graisse.

En ce qui regarde les deux principes minéraux les plus importants dans les aliments, l'acide phosphorique et la chaux, voici le résultat

moyen des analyses nombreuses faites au laboratoire de recherches depuis que l'on a fait entrer la maltine dans le régime alimentaire de la compagnie :

	MALTINE	MAÏS
	—	—
	°/o	°/o
Cendres	5,66	1,29
Acide phosphorique	1,71	0,51
Chaux	1,23	0,02

La maltine est, des trois aliments industriels que nous examinons, le meilleur marché. Son prix de revient moyen à la manutention, depuis que nous l'employons, a été de 12 fr. 80 les 100 kilogr. contre 14 fr. 35 pour les tourteaux et 13 fr. 93 pour les granules.

Les deux autres aliments industriels qui, avec la maltine, figurent dans les mélanges de fourrages consommés par la cavalerie de la Compagnie des voitures, sont les tourteaux et les granules.

Tourteaux. — On désigne dans le commerce, sous le nom de *tourteaux,* des résidus industriels de provenance, de composition et de valeur alimentaire très différentes.

Les tourteaux que nous avons introduits, avec grand avantage, dès la création de la manutention, c'est-à-dire en 1881, dans le régime des chevaux de la compagnie, ont eu constamment, bien que fournis par divers fabricants, une origine identique. Ce sont des résidus du traitement du maïs et parfois de l'orge en vue de l'extraction de l'amidon de ces graines ou de sa transformation en alcool (tourteaux d'amidonnerie ou de distillerie). Suivant le mode de traitement des grains, la composition des tourteaux varie dans d'assez larges limites. Ceux que la cavalerie consomme depuis plusieurs années présentent la composition moyenne suivante, que je rapprocherai, comme je l'ai fait pour la maltine, de celle du maïs :

	TOURTEAU	MAÏS
	—	—
	°/o	°/o
Eau	12,87	14,87
Substances sèches	87,13	85,36
Cellulose brute	10,87	3,03
Graisse	5,73	4,15
Matières azotées	20,62	9,25
Amidon	20 à 25	61,00

C'est sur la graisse et sur les matières azotées que porte l'enrichissement des résidus en principes nutritifs, comme dans le cas de la maltine, mais à un degré sensiblement moindre, la diminution du taux d'amidon suivant à peu près la même marche que dans la maltine.

La teneur en cendres, celle de l'acide phosphorique et de la chaux, ont été trouvées, en moyenne, les suivantes :

Cendres	6,29 °/₀
Acide phosphorique.	1,03
Chaux	0,82

Je n'aurais, au sujet des cendres, aucune remarque à faire, si je ne croyais devoir mettre les acheteurs de tourteaux, de la catégorie de ceux que consomme la cavalerie de la compagnie, en garde contre les agissements répréhensibles de certains fournisseurs. Le taux de 6 °/₀ de matières minérales qui, après incinération, constituent les cendres, peut être regardé comme à peu près normal, c'est-à-dire correspondant à la teneur en principes minéraux que renferment naturellement les matières premières dont les tourteaux sont les résidus. Or, on constate parfois à l'analyse une teneur plus que double, parfois triple, de substances minérales dans certaines livraisons, le chiffre des cendres montant à 14, 15 et 18 °/₀ du poids du tourteau. Lorsqu'on constate une pareille teneur en cendres, il importe de déterminer leur nature, certain qu'on est d'être conduit par l'analyse à découvrir une falsification. Il arrive qu'on découvre que l'excédent des cendres sur leur poids normal provient d'une addition accidentelle, mais beaucoup plus probablement volontaire, de sable, au tourteau. En principes nutritifs la teneur du produit ainsi adultéré se trouve donc abaissée proportionnellement à l'addition de sable inerte ; il y a là un dol dont le consommateur ne saurait trop chercher à s'affranchir ; l'analyse préalable d'un échantillon du tourteau à livrer et sa composition rapprochée de l'analyse d'un échantillon prélevé à l'arrivée de la marchandise, peut mettre à l'abri de cette fraude, ou tout au moins permettre à l'acheteur d'exercer contre le vendeur une revendication nécessaire.

Il y a donc lieu, d'après ce qui précède, d'exiger formellement dans le contrat avec le vendeur la garantie d'une teneur maximum (6 à 7 °/₀ par exemple) de cendres, comme on doit en exiger une pour teneur en eau du produit (12 à 14 °/₀ au maximum), en même temps qu'on aura une garantie de teneur minima en matières azotées et en matières grasses.

Les tourteaux de maïs bien fabriqués, exempts de toute addition de substances étrangères, valent, en moyenne, 13 à 14 fr. les 100 kilogr. — Les distilleries et amidonneries du Nord sont les principaux centres de production des tourteaux.

Granules. — L'aliment concentré qu'on désigne, sous ce nom, à la Compagnie générale, est fabriqué à la manutention de la compagnie pour l'usage exclusif de sa cavalerie. Il ne se trouve donc point dans le commerce. Les granules sont le produit d'un mélange de farine de fèves, de son de blé, d'issues de riz, de drêches de distillerie, qu'on malaxe avec de l'eau afin d'en faire une pâte homogène. Cette pâte est divisée mécaniquement en petites masses ou granules du volume de quelques centimètres cubes, et desséchée dans des appareils spéciaux. La préparation et le malaxage se font à froid.

Les conditions de prix des denrées, leur abondance plus ou moins grande, servent de bases à la fixation des proportions de chacune d'elles entrant dans la préparation des granules. Comme exemple de la composition moyenne des granules, je citerai les chiffres suivants :

Eau	13,18 °/₀
Substances sèches	86,82
Cellulose	10,84
Graisse	5,01
Matières azotées	21,73
Amidon (suivant la nature des matières premières)	20 à 32

Le taux des cendres oscille autour de 6 °/₀ ; celui de l'acide phosphorique est d'environ 1,65 °/₀ ; celui de la chaux 0,21 °/₀. Le prix de revient à la manutention des 100 kilogr. de granules est d'environ 14 fr.

V. — Prix du kilogramme de matières azotées dans les denrées alimentaires du cheval

Nous avons indiqué (p. 151) le prix des différentes denrées utilisées à la Compagnie générale des voitures à Paris pour la nourriture de la cavalerie. Étant donnés ces prix, nous avons eu à déterminer le coût du kilogramme des trois grands groupes de principes nutritifs dans chacune des neuf denrées entrant dans les rations, savoir : matières azotées, hydrocarbonées (fécule et amidon) et grasses. La matière azotée étant celle qui coûte de beaucoup le plus cher dans les aliments, je commencerai par elle.

Pour établir les prix réunis dans le tableau ci-après, nous sommes partis des prix moyens de consommation et de la composition chimique moyenne annuelle des denrées, en suivant une méthode que je vais exposer succinctement.

Pour fixer les idées, prenons comme exemple les avoines livrées à la compagnie en 1899, au prix de 19 fr. 34, et cherchons comment a été obtenu le prix de revient de 85 cent. pour le kilogramme de protéine de ces avoines. Ces avoines ont présenté la teneur moyenne suivante en principes nutritifs bruts :

Pour les matières non azotées	59,46 %
Pour les matières grasses	4.09
Pour les matières azotées (protéine).	9,60

En désignant par x le prix du kilogramme de *matières non azotées*, et en appliquant respectivement à la graisse et aux matières azotées les facteurs 2,33 et 5,22 dont j'explique plus loin l'origine, on obtient la relation suivante :

$$59{,}46x + (4{,}09 \times 2{,}33)\,x + (9{,}60 \times 5{,}22)\,x = 19 \text{ fr. } 34.$$

D'où l'on déduit :

$$x = 0 \text{ fr. } 1624,$$

et par suite

$$5{,}22\,x = 0 \text{ fr. } 85.$$

prix de la protéine dans les avoines de 1899, tel qu'il figure dans le tableau ci-après.

Voyons maintenant comment on détermine les coefficients 2,33 et 5,22 affectés à la graisse et aux matières azotées :

Parmi les trois cent cinquante analyses d'avoine effectuées en 1899, choisissons-en trois, ayant donné :

	TAUX °/o
Pour les matières non azotées	a, a', a'' ;
Pour la graisse	b, b', b'' ;
Pour les matières azotées	c, c', c''.

En désignant respectivement par X, Y, Z les prix du kilogramme de ces divers principes nutritifs, nous aurons le système d'équations suivant :

$$a\,X + b\,Y + c\,Z = 19{,}34$$
$$a'X + b'Y + c'Z = 19{,}34$$
$$a''X + b''Y + c''Z = 19{,}34$$

La résolution de ce système nous donnera certaines valeurs pour X, Y, Z.

Si maintenant nous répétons ce calcul sur plusieurs systèmes de trois équations formées comme les précédentes, nous obtiendrons pour X, Y et Z une série de valeurs, dont nous désignerons les moyennes par Xm, Ym, Zm. Il est donc facile d'avoir les rapports $\frac{Xm}{Ym}$ et $\frac{Zm}{Xm}$ qui représentent, pour l'année 1899, les prix d'un kilogramme de graisse et d'un kilogramme de matières azotées dans l'avoine, en supposant égal à l'unité de prix du kilogramme de matières non azotées.

Appliquant ensuite la même méthode aux analyses d'avoines consommées pendant une série d'années (de façon à avoir des résultats plus rigoureux), on obtient pour les rapports $\frac{Ym}{Xm}$ et $\frac{Xm}{Zm}$ différentes valeurs, dont les moyennes finales donnent précisément 2,33 et 5,22 pour prix respectifs d'un kilogramme de graisse et d'un kilogramme de matières azotées, dans l'hypothèse où les matières non azotées valent 1 fr. Ces coefficients étant déterminés, on peut, ainsi qu'on vient de le montrer, établir facilement le prix du kilogramme des différents principes nutritifs bruts, dans une avoine quelconque, dont on connaît la composition et le prix de revient, en prenant

comme unique inconnue du problème le prix du kilogramme de matières non azotées. C'est ainsi qu'on a trouvé plus haut le prix de 16 cent. pour le kilogramme de matières non azotées dans les avoines de 1899, et qu'on en a déduit le prix de la protéine dans ces mêmes avoines : 85 cent.

Le même mode de calcul s'applique, bien entendu, aux autres denrées ; mais pour chaque groupe (grains, fourrages, aliments industriels), il y a des coefficients différents, qu'il faut déterminer comme l'ont été les coefficients 2,33 et 5,22, si l'on veut avoir une base d'évaluation aussi exacte que possible. Mon regretté collaborateur A. Leclerc, qui a fait de très nombreuses déterminations à ce sujet, est arrivé finalement aux résultats suivants :

Le kilogramme de matières non azotées valant 1 fr., le kilogramme de graisse vaut 2 fr. 33 dans les grains (avoine, maïs, féverole), 2 fr. 04 dans les fourrages (foin, paille), 2 fr. 42 dans les aliments industriels azotés (tourteaux, maltine, granules) ; et le kilogramme de matières azotées vaut 5 fr. 22 dans les grains, 2 fr. 97 dans les fourrages, 5 fr. 90 dans les aliments industriels non azotés.

Tels sont les coefficients qui nous ont servi à établir, année par année, les prix de revient du kilogramme des différents principes nutritifs bruts, dans les huit denrées principales de la compagnie, prix qui figurent dans le tableau ci-après et dans ceux que je reproduirai ensuite. Je ne discuterai pas ici les inconvénients de la méthode qui vient d'être exposée, pas plus que de toutes celles qu'on a employées pour résoudre la question qui nous occupe. Cette méthode ne donne pas évidemment de résultats exacts *en valeur absolue,* mais elle permet d'établir, entre les différentes denrées, des comparaisons qui ne manquent pas d'intérêt.

Nous voyons que, de toutes les denrées consommées de 1880 à 1899, c'est *l'avoine qui a livré le kilogramme de protéine au prix le plus élevé* pendant toute cette période ; ce résultat n'a rien de surprenant, si on compare seulement l'avoine et le maïs, ce dernier ayant une teneur en protéine très voisine de celle de l'avoine et ayant, d'autre part, un prix de revient moindre ; mais il n'en est plus de même si on compare l'avoine ou le maïs avec la féverole ; dans ce cas, on constate que c'est la féverole qui est la plus avanta-

geuse, malgré son prix de revient très élevé, puisqu'elle a fourni, en moyenne, le kilogramme de protéine à 59 cent. cette même protéine valant 68 cent. dans le maïs et 85 cent. dans l'avoine.

Prix du kilogramme de protéine.

ANNÉES	AVOINE	MAÏS	FÉVEROLE	FOIN	PAILLE	TOURTEAU	MALTINE	GRANULES
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1880.	0,91	0,81	0,71	0,48	0,41	0,54	»	»
1881.	0,99	0,77	0,58	0,54	0,48	0,52	»	»
1882.	1,00	0,78	0,67	0,56	0,40	0,49	»	»
1883.	0,92	0,78	0,68	0,46	0,32	0,53	»	»
1884.	0,90	0,70	0,63	0,45	»	0,51	»	»
1885.	0,86	0,73	0,60	»	»	0,52	»	»
1886.	0,85	0,67	0,57	»	»	0,45	»	»
1887.	0,81	0,61	0,57	»	0,27	0,43	»	»
1888.	0,75	0,59	0,56	»	0,33	0,45	»	»
1889.	0,81	0,60	0,54	»	»	0,47	»	»
1890.	0,81	0,59	0,55	»	»	0,44	»	»
1891.	0,82	0,73	0,48	»	0,27	0,58	»	»
1892.	0,80	0,78	0,55	»	0,25	0,52	»	»
1893.	0,78	0,75	0,59	»	0,28	0,59	»	»
1894.	0,73	0,71	0,59	»	0,43	0,56	»	»
1895.	0,72	0,68	»	»	0,43	0,46	0,33	»
1896.	0,69	0,62	»	»	0,27	0,44	0,32	0,56
1897.	0,67	0,61	»	»	0,29	0,43	0,31	0,41
1898.	0,83	0,61	»	»	0,28	0,48	0,33	0,41
1899.	0,85	0,65	»	»	0,27	0,52	0,34	0,45

Dans les fourrages, on trouve que le foin, considéré au point de vue de la protéine, est moins avantageux que la paille ; les résultats moyens obtenus pour ces deux denrées (dans les années où les éléments analytiques ont été reconnus suffisants) sont 49 cent. pour le foin, 33 cent. pour la paille.

Remarquons, en passant, la hausse anormale des années 1881-1882 d'une part, 1893-1894 d'autre part ; pour ces dernières, la sécheresse suffit à l'expliquer.

En ce qui concerne les aliments industriels, les variations des prix

de la protéine sont moindres que dans les autres denrées : ces prix eux-mêmes ne sont supérieurs qu'à celui trouvé pour la paille.

En moyenne, ils sont de 49 cent. dans les tourteaux ; 46 cent. dans les granules ; 33 cent. dans la maltine.

La maltine, dont le prix de consommation est inférieur à celui des grains et des autres résidus d'industrie ([1]), a donc encore l'avantage de livrer la protéine au prix minimum. Sa substitution à la féverole (dont elle se rapproche par sa composition) est donc parfaitement justifiée au point de vue économique. On voit en même temps que les substitutions du maïs à l'avoine et de la paille au foin, envisagées au même point de vue, méritent d'attirer l'attention.

Les chiffres inscrits dans le tableau ci-contre peuvent être d'une grande utilité, malgré l'absence de valeur absolue, pour les cultivateurs et les propriétaires de chevaux désireux de calculer le coût des substitutions dans les rations. Pour ce faire, il leur suffira de les rapprocher de la composition moyenne des fourrages qu'ils peuvent se procurer.

VI. — Prix du kilogramme d'amidon

Le tableau ci-après est relatif au prix du kilogramme d'amidon dans les denrées consommées de 1880 à 1899 à la Compagnie générale des voitures à Paris.

Je ne reviendrai pas sur la méthode employée pour déterminer ces prix, ayant donné sur ce sujet, dans le paragraphe précédent, toutes les explications nécessaires ; mais je ferai remarquer que le mot amidon désigne ici l'ensemble des *matières non azotées brutes,* c'est-à-dire non seulement l'amidon proprement dit, mais encore la cellulose saccharifiable, les sucres et les indéterminés (gommes, pentosanes, corps pectiques, etc.).

On a vu précédemment que, pour chaque groupe d'aliment (grains, fourrages, aliments industriels), nous avons trouvé un rapport constant, d'environ 1/3, 1/5 ou 1/6 suivant le cas, entre le prix des matières non azotées et celui de la protéine ; il en résulte que les variations observées dans le prix de la protéine doivent se retrou-

1. Voir page 156.

ver dans ceux de l'amidon; c'est d'ailleurs ce que la lecture du tableau ci-dessous permet de constater.

Prix du kilogramme d'amidon.

ANNÉES	AVOINE	MAÏS	FÉVEROLE	FOIN	PAILLE	TOURTEAU	MALTINE	GRANULES
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1880.	0,17	0,14	0,14	0,15	0,14	0,09	»	»
1881.	0,19	0,15	0,11	0,18	0,16	0,09	»	»
1882.	0,19	0.15	0,13	0,19	0,13	0,08	»	»
1883.	0,18	0,15	0,13	0,15	0,11	0,09	»	»
1884.	0,17	0,13	0,12	0,15	»	0,09	»	»
1885.	0,16	0,14	0,11	»	»	0,09	»	»
1886.	0,16	0,13	0,11	»	»	0,08	»	»
1887.	0,15	0,12	0,11	»	0,09	0,07	»	»
1888.	0,14	0,11	0,11	»	0,11	0,08	»	»
1889.	0,15	0,11	0,10	»	»	0,08	»	»
1890.	0,15	0,11	0,10	»	0,09	0,07	»	»
1891.	0,16	0,14	0,09	»	0,08	0,09	»	»
1892.	0,15	0,15	0,10	»	0,09	0,09	»	»
1893.	0,15	0,14	0,11	»	0,14	0,10	»	»
1894.	0,14	0,14	0,10	»	0,14	0,09	»	»
1895.	0,14	0,13	»	»	0,09	0,08	0,06	»
1896.	0,13	0,12	»	»	0,09	0,07	0,05	0,09
1897.	0,13	0,12	»	»	0,10	0,07	0,05	0,07
1898.	0.16	0,12	»	»	0,09	0,08	0,06	0.07
1899.	0,16	0,12	»	»	0,09	0,09	0,06	0,08

On voit ainsi que, parmi toutes les denrées utilisées de 1880 à 1890, l'avoine et le foin ont livré le kilogramme d'amidon au prix moyen le plus élevé; viennent ensuite, par ordre décroissant, le maïs, la féverole, la paille, puis les tourteaux, les granules et en dernier lieu la maltine. Voici, d'ailleurs, les prix moyens du kilogramme d'amidon dans les trois groupes de denrées.

GRAINS		FOURRAGES		ALIMENTS INDUSTRIELS	
Avoine . . .	0f,16	Foin	0f,16	Tourteaux. .	0f,08
Maïs	0,13	Paille. . . .	0,11	Granules . .	0,08
Féverole. . .	0,11			Maltine. . .	0,06

Ces résultats montrent qu'en ce qui concerne l'amidon, la féverole est un aliment beaucoup plus avantageux que l'avoine et un peu plus que le maïs, malgré son prix d'achat élevé ; le même fait a d'ailleurs été constaté à propos de la protéine.

Dans les fourrages proprement dits, la paille s'est montrée plus économique que le foin ; enfin, dans les aliments industriels, la valeur du kilogramme d'amidon consommé a dépassé à peine la moitié de celle qu'il a atteinte dans les grains et les fourrages, et c'est la maltine qui l'a livré constamment au prix minimum.

Ces diverses observations s'appliquent, bien entendu, aux moyennes des prix relevés pour chaque denrée ; on peut constater, il est vrai, dans le tableau, que dans telle année, 1894 par exemple, l'amidon a été aussi cher dans la paille que dans l'avoine, tandis que dans telle autre, comme 1891, l'amidon de la paille a été exceptionnellement bon marché, au-dessous même de celui des tourteaux ; mais ce sont là des anomalies dues à des conditions spéciales, soit climatériques, soit économiques, et qui n'infirment en rien les remarques ci-dessus.

Dans la pratique des substitutions de denrées à la ferme on peut assigner, sans grand inconvénient, une valeur moyenne de 10 cent. au kilogramme de matières hydrocarbonées (amidon, etc.). La matière non azotée est, des trois groupes d'éléments nutritifs, celle qu'on peut se procurer au meilleur marché.

VII. — Prix du kilogramme de graisse

Des trois groupes de principes nutritifs qui constituent les aliments, la matière grasse est celle que l'analyse arrive le moins rigoureusement à caractériser. On est convenu de désigner sous le nom de graisse l'ensemble des matières extraites des aliments par dissolution dans le sulfure de carbone ou dans l'éther.

Dans la longue série d'études sur les denrées alimentaires faites au laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voitures, on a trouvé un rapport constant entre le prix des *matières non azotées et celui de la graisse* pour les aliments d'un même groupe

(grains, fourrages et aliments industriels). Il résulte de là que les prix de la graisse présentent, pour un même groupe, la même allure générale que ceux de l'amidon.

On ne saurait donc s'étonner que l'avoine ait fourni la matière grasse au prix maximum pendant toute la période envisagée, puisque le même fait a été constaté pour l'amidon.

Prix du kilogramme de la graisse dans les denrées

ANNÉES	AVOINE	MAÏS	FÉVEROLE	FOIN	PAILLE	TOURTEAU	MALTINE	GRANULES
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1880.	0,40	0,33	0,32	0,31	0,28	0,22	»	»
1881.	0,44	0,34	0,26	0,37	0,33	0,21	»	»
1882.	0,44	0,35	0,30	0,38	0,27	0,20	»	»
1883.	0,41	0,35	0,30	0,31	0,22	0,22	»	»
1884.	0,40	0,31	0,28	0,31	»	0,21	»	»
1885.	0,38	0,33	0,27	»	»	0,21	»	»
1886.	0,38	0,30	0,26	»	»	0,18	»	»
1887.	0,36	0,27	0,26	»	0,18	0,18	»	»
1888.	0,33	0,26	0,25	»	0,23	0,18	»	»
1889.	0,36	0,27	0,24	»	»	0,19	»	»
1890.	0,36	0,26	0,24	»	0,19	0,18	»	»
1891.	0,37	0,33	0,22	»	0,17	0,22	»	»
1892.	0,36	0,35	0,25	»	0,19	0,21	»	»
1893.	0,35	0,33	0,36	»	0,29	0,24	»	»
1894.	0,32	0,32	0,25	»	0,30	0,23	»	»
1895.	0,32	0,30	»	»	0,19	0,19	0,14	»
1896.	0,31	0,27	»	»	0,18	0,18	0,13	0,23
1897.	0,30	0,27	»	»	0,20	0,18	0,13	0,17
1898.	0,37	0,27	»	»	0,19	0,19	0,13	0,17
1899.	0,38	0,29	»	»	0,18	0,21	0,14	0,18

Les autres grains se sont montrés, sous ce rapport, plus avantageux, le maïs se classant après l'avoine dans l'ordre décroissant des prix et la féverole étant, ici encore, le plus économique des trois grains consommés par la cavalerie.

En ce qui concerne les fourrages bruts, la paille a livré constam-

ment la graisse à bien meilleur compte que le foin. Quant aux aliments industriels, ils ont été plus avantageux que toutes autres denrées, tant sous ce rapport que sous celui de la protéine et de l'amidon. A remarquer que la maltine a fourni la matière grasse au prix minimum, sensiblement inférieur au prix trouvé dans les tourteaux et dans les granules.

Si, pour chaque denrée, on établit la moyenne des prix du kilogramme de graisse, on arrive aux résultats suivants :

GRAINS		FOURRAGES		ALIMENTS INDUSTRIELS	
Avoine . . .	0f,37	Foin . . .	0f,34	Tourteau. . .	0f,20
Maïs	0,30	Paille. . .	0,22	Granules . . .	0,19
Féverole. . .	0,27			Maltine. . .	0,13

En rapprochant ces résultats de ceux qu'on a précédemment trouvés pour l'amidon et la protéine, on arrive en fin de compte à classer dans l'ordre suivant les huit denrées consommées, en commençant par celle qui a donné les principes nutritifs bruts aux prix les plus élevés :

1. Avoine.
2. Foin.
3. Maïs.
4. Féverole.
5. Paille.
6. Tourteau.
7. Granules.
8. Maltine.

Cette classification ne correspond pas du tout, on le voit, à l'échelle décroissante des prix des mêmes denrées (voir le tableau de la page 151.

D'après le prix d'achat du quintal des huit aliments, ceux-ci se trouvent, en effet, classés dans l'ordre suivant :

1. Féverole.
2. Avoine.
3. Maïs.
4. Tourteau.
5. Granules.
6. Maltine.
7. Foin.
8. Paille.

On voit donc que, surtout pour la féverole, le foin et la paille, le prix d'achat ne peut pas, à lui seul, servir de base à une estimation exacte de la valeur économique de la denrée.

VIII. — Prix de l'unité nutritive dans les aliments du bétail

Nous avons vu comment on peut établir les prix de revient du kilogramme des différents principes nutritifs du bétail et quelles conclusions nous avons pu en tirer sur la valeur comparative des aliments du cheval. Nous avons pensé qu'il était intéressant de compléter cette étude, déduite de calculs assez compliqués, et d'en contrôler les résultats à l'aide de la méthode imaginée par le professeur J. Kühn, de Halle, que tout cultivateur peut aisément appliquer. Cette méthode consiste à calculer le nombre d'*unités nutritives* que contiennent 100 kilogr. d'un aliment quelconque, en partant des conventions suivantes :

L'expérience a montré qu'il existe un rapport assez étroit entre la valeur alimentaire des trois grands groupes de principes nutritifs : éléments hydro-carbonés (amidon), graisse, protéine digestible. On a été conduit à admettre les rapports suivants :

1 kilogr. de matières non azotées digestibles représente une unité nutritive ;

1 kilogr. de graisse digestible est compté pour 2,44 unités nutritives ;

1 kilogr. de matières azotées digestibles est compté pour 6 unités nutritives.

Partant de cette base, on multiplie respectivement par 6 et par 2,44 les poids des matières *digestibles* azotées et grasses contenues dans 100 kilogr. d'aliment et qu'indiquent, en l'absence d'analyses directes, les tables de composition des fourrages (tables de E. Wolff, de J. Kühn). A ces deux produits additionnés, on ajoute les hydrocarbonés digestibles, et le total de ces opérations représente le nombre d'unités nutritives contenues dans 100 kilogr. de l'aliment en question. Connaissant d'autre part le prix de la denrée, on déduit aisément, à l'aide du nombre qu'on vient de trouver, la *valeur-argent de l'unité nutritive* dans cette denrée. On peut ainsi comparer les prix de revient de la somme des principes nutritifs des divers fourrages.

Cette méthode, appliquée aux huit denrées employées dans nos

expériences sur l'alimentation du cheval, a fourni, pour la période 1880-1899, les résultats inscrits dans le tableau ci-dessous.

Prix moyen de l'unité nutritive (méthode de J. Kühn).

ANNÉES	AVOINE	MAÏS	FÉVEROLE	FOIN	PAILLE	TOURTEAU	MALTINE	GRANULES
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1880.	0,2490	0,1910	0,1644	0,2767	0,2781	0,1463	»	»
1881.	0,2715	0,1985	0,1331	0,3248	0,3278	0,1392	»	»
1882.	0,2741	0,2015	0,1546	0,3479	0,2748	0,1313	»	»
1883.	0,2512	0,1996	0,1568	0,2806	0,2177	0,1423	»	»
1884.	0,2484	0,1082	0,1446	0,2741	»	0,1417	»	»
1885.	0,2343	0,1881	0,1378	»	»	0,1388	»	»
1886.	0,2325	0,1713	0,1314	»	»	0,1270	»	»
1887.	0,2234	0,1580	0,1325	»	0,1859	0,1160	»	»
1888.	0,2136	0,1530	0,1300	»	0,2286	0,1197	»	»
1889.	0,2205	0,1555	0,1247	»	»	0,1252	»	»
1890.	0,2223	0,1509	0,1297	»	0,1866	0,1159	»	»
1891.	0,2251	0,1887	0,1115	»	0,1707	0,1402	»	»
1892.	0,2193	0,1996	0,1273	»	0,1851	0,1386	»	»
1893.	0,2133	0,1924	0,1356	»	0,2864	0,1556	»	»
1894.	0,1986	0,1841	0,1279	»	0,3025	0,1472	»	»
1895.	0,1979	0,1761	»	»	0,1884	0,1216	0,0844	»
1896.	0,1866	0,1654	»	»	0,1818	0,1154	0,0820	0,1656
1897.	0,1835	0,1558	»	»	0,1952	0,1143	0,0795	0,1113
1898.	0,2267	0,1575	»	»	0,1903	0,1251	0,0835	0,1124
1899.	0,2323	0,1674	»	»	0,1830	0,1146	0,087	0,1244

Pour établir la composition des différentes denrées en éléments digestibles, nous nous sommes servi de la composition moyenne annuelle de ces denrées, calculée d'après les analyses du laboratoire, et des coefficients de digestibilité déterminés par nos expériences directes sur le cheval.

J'ajouterai que les matières azotées digestibles ont été comptées en bloc, c'est-à-dire sans déduction des amides [1].

1. On sait qu'on désigne sous ce nom des substances azotées qui ne sont pas de la protéine : les amides, abondantes dans les fourrages verts, luzerne, etc., existent en faible quantité dans les huit denrées expérimentées par nous, ce qui permet de les négliger dans le calcul de leur valeur nutritive.

Dans les matières non azotées, on n'a pas tenu compte de la très faible proportion de cellulose brute digestible utilisée par le cheval.

Poursuivi dans de telles conditions, le calcul de la valeur-argent de l'unité nutritive dans les différentes denrées donne lieu à des remarques intéressantes.

Si l'on embrasse l'ensemble de la période 1880-1899 pour les huit aliments consommés, on constate des écarts très sensibles dans le prix de l'unité nutritive dans les différents fourrages, c'est-à-dire dans le prix du kilogramme d'hydrocarbonés digestibles pris comme point de départ ; on voit, en effet, ce prix, qui était d'environ 35 cent. dans le foin en 1882, descendre en 1897 à 8 cent. dans la maltine, éprouvant ainsi une diminution de plus des trois quarts de sa valeur. Même en se bornant aux variations de prix dans une même denrée, on constate encore que l'écart entre les prix extrêmes a atteint 16 cent. dans la paille, 9 cent. dans l'avoine, 7 cent. dans le foin, pour descendre à 5 cent. dans le maïs, la féverole, les granules, à 4 cent. dans les tourteaux, et à moins de 1 cent. dans la maltine. C'est donc dans le foin que l'unité nutritive a atteint son prix maximum, dans la paille qu'elle a subi les plus grandes variations de prix et dans la maltine qu'elle a eu à la fois la valeur la plus constante et la plus faible.

En établissant la moyenne, par denrée, des prix de l'unité nutritive, pour les vingt années, on obtient les valeurs suivantes :

Prix moyen de l'unité nutritive

Foin.	0f,30	Féverole. . . .	0f,14
Avoine	0 ,23	Tourteaux . . .	0 ,13
Paille	0 ,22	Granules. . . .	0 ,13
Maïs.	0 ,18	Maltine	0 ,08

Ces résultats montrent que, des huit aliments expérimentés, le foin est le moins avantageux de tous, celui qui livre le kilogramme d'hydrocarbonés digestibles au prix le plus élevé, et la maltine, au contraire, la denrée la plus économique. Parmi les grains, l'avoine est moins avantageuse que le maïs et la féverole, et cette dernière, malgré le bas prix de son unité nutritive, ne peut pas lutter au point

de vue économique avec la maltine, qui lui a été substituée dans les rations courantes de la Compagnie.

Le classement des denrées auquel nous avait conduit la méthode employée précédemment (voir page 167), savoir : avoine, foin, maïs, féverole, paille, tourteaux, granules, maltine, était presque semblable à celui que donne ici l'emploi de la méthode Kühn. On peut se rendre compte de la façon suivante que les deux systèmes fournissent, quand on les interprète convenablement, des indications tout à fait voisines. Dans le premier système, on détermine, comme l'a fait A. Leclerc, la valeur du kilogramme des différents principes nutritifs *bruts* (protéine, amidon, graisse) à l'aide de coefficients déduits de nombreuses analyses; dans la méthode J. Kühn, on évalue le prix du kilogramme des matières non azotées *digestibles*, en affectant les autres éléments digestibles de coefficients conventionnels.

Il est donc possible de comparer les résultats trouvés pour le kilogramme de matières non azotées (amidon) brutes par la première méthode, avec ceux trouvés par la méthode Kühn pour les matières non azotées digestibles; il suffit, pour cela, de tenir compte de la digestibilité des matières non azotées, dans lesquelles on ne fait entrer ni la graisse ni la cellulose brute, comme on l'a vu plus haut. Prenons comme exemples l'avoine et le foin; la première nous a donné :

Pour 1 kilogr. de matières non azotées brutes : dans l'avoine, 0 fr. 156 ; dans le foin, 0 fr. 164.

La digestibilité de ces matières, d'après les expériences du laboratoire, est de 76,76 °/₀ dans l'avoine et 45,84 °/₀ dans le foin. Avec ces données, on trouve alors que :

1 kilogr. de matières non digestibles vaut : dans l'avoine, 20 cent. ; dans le foin, 36 cent.

Ces résultats se rapprochent beaucoup de ceux que fournit la méthode Kühn et qui sont : pour l'avoine, 23 cent. ; pour le foin, 30 cent.

On peut conclure, en résumé :

1° Que le prix des denrées ne permet pas, sans le concours de leur composition chimique, de les apprécier à leur valeur réelle ;

2° Que les aliments classiques du cheval; foin, avoine, paille,

sont moins avantageux, au point de vue économique, que le maïs et la féverole, et surtout que les aliments dits industriels.

Ces conclusions présentent, suivant nous, un très réel intérêt pour les cultivateurs, en leur permettant de se rendre compte de la valeur des différents fourrages dont ils disposent pour l'alimentation de leur écurie.

IX. — Teneur en principes nutritifs bruts de la ration journalière du cheval de place

Dans les chapitres précédents, nous avons envisagé, séparément et *au seul point de vue économique,* chacune des denrées entrant dans les rations des chevaux de la Compagnie générale des voitures. Nous nous proposons d'examiner maintenant les résultats que la compagnie a obtenus, *au point de vue alimentaire,* en mélangeant ces mêmes denrées et en les substituant les unes aux autres, dans des proportions déterminées par leur composition chimique. Le tableau ci-après indique, pour chacune des années 1882 à 1899, la teneur de la ration moyenne journalière en principes nutritifs bruts ; avant de le commenter, nous croyons indispensable d'indiquer les caractères essentiels du système d'alimentation de la Compagnie générale.

Dans ce système, les chevaux ne consomment que des aliments *mélangés,* parfaitement *nettoyés* au préalable, et dont les uns (grains et tourteaux) sont *concassés,* tandis que les autres sont *hachés :* la paille par exemple. Ainsi préparé, ce mélange de fourrages et d'aliments concentrés permet au cheval une mastication plus parfaite et, par suite, une assimilation plus régulière et plus complète.

En outre, grâce aux analyses de son laboratoire, la compagnie est toujours à même de donner à ses chevaux des rations en rapport avec leurs besoins et *de valeur nutritive rigoureusement constante,* malgré la variété des denrées employées et des substitutions pratiquées pour des raisons économiques.

Les chevaux de la compagnie travaillant, en général, un jour sur deux, il a été reconnu indispensable de leur donner des rations différentes, le jour de repos et le jour de travail. On sait, en effet, que l'animal s'entretient presque exclusivement à l'aide des *réserves* accumu-

lées dans son organisme, les aliments venant chaque jour reconstituer ces réserves, au fur et à mesure de leur utilisation. Il résulte de là que l'alimentation du jour de repos doit être plus forte que celle du jour de travail.

Le jour de repos, les chevaux reçoivent, en quatre repas, le mélange dont il est question plus haut, composé de 5/10 de grains, 3/10 de paille et 2/10 d'aliments industriels azotés.

Le jour de travail, ils reçoivent :

1° Avant leur départ de l'écurie : 1/4 du mélange précédent ;

2° Au cours du travail : une ration de grain (4 kilogr. d'avoine par exemple) ;

3° A leur rentrée à l'écurie : une ration contenant 4/5 de grains et 1/5 de paille.

Le poids total de ces diverses rations, destinées à entretenir le cheval pendant deux jours, tout en lui permettant de fournir un travail d'environ 1 million de kilogrammètres, a toujours été d'au moins 18 kilogr. ; la *ration journalière moyenne* a donc constamment dépassé le poids de 9 kilogr. C'est précisément la composition en principes nutritifs bruts de cette *ration journalière moyenne* (pour la période de 1882 à 1899) qui fait l'objet du tableau ci-après.

Les denrées utilisées pendant cette période ont été assez nombreuses ; outre les aliments classiques du cheval (avoine, foin, paille), on a employé le maïs, le seigle, l'orge, le blé et le sarrasin, les tourteaux, la maltine et les granules. Cependant, malgré la diversité de ces éléments, on a toujours conservé à la ration moyenne la même valeur alimentaire.

Le tableau ci-après donne la composition de la ration journalière en principes nutritifs, savoir : 1° matière sèche ; 2° cendres ; 3° hydrocarbonés (cellulose et matières non azotées) ; 4° graisse ; 5° matières azotées totales ; 6° eau ; 7° acide phosphorique et chaux contenus dans la ration.

Comme on le voit, la quantité de chacun des principes nutritifs a peu varié dans cette longue période d'expériences ; il en est de même de l'eau : on peut fixer à 1^{kg},350 la quantité moyenne d'eau consommée par le cheval de place dans sa ration journalière.

L'année 1889 appelle une remarque spéciale ; elle doit être envi-

sagée à part, la ration ayant été augmentée en raison du surcroît de travail de la cavalerie pendant l'exposition universelle. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner que les poids de presque tous les éléments nutritifs atteignent, pendant cette année-là, leur valeur maxima.

Teneur en principes nutritifs bruts de la ration moyenne journalière du cheval de place.

ANNÉES	EAU	MATIÈRE sèche	CENDRES	CELLULOSE brute	GRAISSE	MATIÈRES azotées	MATIÈRES non azotées	ACIDE phosphorique	CHAUX
1882. .	1,338	7,761	0,350	1,168	0,302	0,900	5,037	0,076	0,033
1883. .	1,372	8,033	0,347	1,160	0,316	0,924	5,282	0,080	0,034
1884. .	1,334	7,874	0,336	1,120	0,320	0,896	5,201	0,075	0,031
1885. .	1,337	7,893	0,337	1,146	0,319	0,895	5,191	0,074	0,031
1886. .	1,337	7,909	0,327	1,177	0,320	0,897	5.236	0,070	0,229
1887. .	1,369	8,111	0,312	1,107	0,329	0,901	5,459	0,065	0,027
1888. .	1,364	8,096	0,309	1,109	0,328	0,903	5,442	0,063	0,226
1889. .	1,425	8,511	0,323	1,158	0,351	0,977	5,702	0,063	0,025
1890. .	1,362	8,102	0,282	1,056	0,325	0,900	5,539	0,057	0,021
1891. .	1,359	8,107	0,307	1,126	0,332	0,912	5,430	0,058	0,024
1892. .	1,346	8,124	0,363	1,305	0,335	0,933	5,184	0,064	0,028
1893. .	1,343	8,104	0,300	1,090	0,315	0,896	5,502	0,058	0,024
1894. .	1,366	8,132	0,280	1,038	0,330	0,904	5,577	0,055	0,022
1895. .	1,328	8,126	0,330	1,162	0,327	0,923	5,383	0,061	0,026
1896. .	1,331	8,064	0,332	1,165	0,355	0,892	5,320	0,055	0,026
1897. .	1,333	7,977	0,328	1,157	0,364	0,887	5,240	0,054	0,026
1898. .	1,312	7,948	0,325	1,132	0,365	0,899	5,229	0,055	0,027
1899. .	1,284	7,809	0,318	1,103	0,363	0,894	5,130	0,054	0,027

Exception faite pour 1889, on constate à l'aide de ce tableau les variations suivantes dans le taux journalier des différents principes nutritifs :

Moins de 300 grammes pour la matière sèche et la cellulose ;

Environ 50 grammes pour la graisse et les matières azotées ;

Plus de 500 grammes pour les matières non azotées.

Ces variations équivalent aux fractions ci-après :

1/25 du poids de la matière sèche ;

1/4 de celui de la cellulose ;

1/7 de celui de la graisse;

1/20 de celui des matières azotées;

1/10 de celui des matières non azotées.

Sauf pour la cellulose brute (ligneux), dont le rôle est d'ailleurs assez restreint dans l'alimentation du cheval, ces variations ont donc été minimes, et ce résultat mérite d'autant plus d'attirer l'attention que la ration du cheval de la compagnie a subi dans la nature des denrées qui la composent de fréquentes modifications dont les principales ont été:

1° L'admission simultanée du maïs et de l'avoine, dans des proportions variables avec les années, suivant les cours du marché;

2° La diminution progressive du foin au profit de la paille et sa suppression complète depuis 1889; nous reviendrons plus tard sur ce point très important;

3° La substitution de la maltine à la féverole depuis 1895;

4° La distribution, en quantités variables, de tourteaux depuis 1882;

5° L'introduction des granules fabriqués par la compagnie depuis 1896.

En résumé, on constate que tous ces changements n'ont pas influé sur la *ration journalière* qui, pendant la période 1882-1899, ne s'est pas écartée sensiblement de la teneur moyenne suivante en principes nutritifs bruts:

Matière sèche	8kg,037
Cendres	0 ,322
Acide phosphorique	0 ,063
Chaux	0 ,027
Cellulose	1 ,138
Graisse	0 ,327
Matières azotées	0 ,907
— non azotées	5 ,338

Cette ration concorde exactement avec les résultats constatés dans les expériences faites dès l'origine au laboratoire, en 1881-1882.

Tout ce qui précède se rapporte aux quantités de principes nutritifs *bruts* contenus dans les denrées qui ont constitué les rations. Or nos lecteurs savent qu'une partie seulement des matières azotées,



grasses et amylacées des aliments est utilisée par l'animal : il faut donc examiner la composition des rations en principes *digestibles*, les seuls que l'animal utilise pour son entretien. C'est ce que nous ferons, après avoir indiqué la composition centésimale de chacune des denrées expérimentées au laboratoire de recherches de 1880 à 1899 et introduites dans le régime alimentaire de la cavalerie de la compagnie.

X. — Teneur en principes digestibles de la ration journalière du cheval de place

Nous venons de faire connaître la teneur en *principes nutritifs bruts* de la ration journalière du cheval de place pendant la période 1882-1889. C'est de la teneur de la même ration en *principes nutritifs digestibles*, représentée dans le tableau ci-contre, qui va nous occuper.

La disposition générale de ce tableau est la même que celle du précédent, exception faite pour les cendres, qui n'y figurent pas, faute de données précises sur leur digestibilité : les quantités des autres principes (matière sèche, cellulose, matières non azotées, graisse et matières azotées) sont inscrites dans le même ordre que dans le tableau précédent.

La teneur de la ration en principes digestibles a été déduite de la teneur en principes bruts, à l'aide de l'application des coefficients de digestibilité déterminés, pour chacun de ces principes, dans les expériences sur le *mélange* faites au laboratoire en 1881 et 1897 avec les rations consommées, dans ces années, par le cheval de place.

Ces expériences ont porté, en 1881, sur une ration dans laquelle entrait du *foin* et, en 1897, sur une ration d'où ce fourrage était exclu et qui contenait une plus grande quantité d'aliments industriels que la précédente.

On a donc appliqué les coefficients de digestibilité déterminés en 1881 à toutes les rations de la période de 1882 à 1888, ces rations ayant contenu du foin, et ceux fournis par les expériences de 1897 aux rations de 1889 à 1899, dans lesquelles le foin a été supprimé

et les aliments industriels ont été employés en plus grande quantité.

Teneur en principes nutritifs digestibles de la ration moyenne journalière du cheval de place.

ANNÉES	MATIÈRE sèche	CELLULOSE brute	GRAISSE	MATIÈRES azotées	MATIÈRES non azotées
1882	5,245	0,482	0,174	0,643	3,692
1883	5,429	0,478	0,182	0,660	3,872
1884	5,321	0,462	0,184	0,640	3,812
1885	5,334	0,472	0,184	0,640	3,805
1886	5,345	0,485	0,184	0,641	3,838
1887	5,481	0,456	0,189	0,643	4,001
1888	5,471	0,457	0,189	0,645	3,989
1889	6,154	0,564	0,209	0,721	4,686
1890	5,859	0,514	0,124	0,664	4,552
1891	5,862	0,548	0,198	0,673	4,463
1892	5,874	0,636	0,199	0,689	4,260
1893	5,860	0,531	0,188	0,661	4,522
1894	5,880	0,506	0,196	0,667	4,583
1895	5,876	0,566	0,195	0,681	4,424
1896	5,831	0,567	0,211	0,658	4,372
1897	5,768	0,563	0,217	0,654	4,306
1898	5,747	0,551	0,217	0,664	4,297
1899	5,647	0,537	0,216	0,660	4,216

Nous indiquerons bientôt la valeur de ces coefficients et nous entrerons à leur sujet dans les détails nécessaires. Ici, nous ferons seulement remarquer que les coefficients de digestibilité trouvés pour les principes nutritifs des rations qui ne contenaient pas de foin se sont montrés supérieurs à ceux des rations dans lesquelles entrait cette denrée. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner si l'examen du tableau ci-dessus fait ressortir, depuis 1890, une augmentation dans la teneur en principes digestibles. (L'année 1889 doit être regardée comme exceptionnelle et mise à part pour les raisons indiquées précédemment.)

Comme la teneur en principes nutritifs bruts n'a pas sensiblement

varié depuis 1890, ainsi que le montre le tableau (p. 174), l'augmentation constatée pour les éléments digestibles est donc entièrement due à la *digestibilité plus grande* des rations distribuées depuis cette époque. Cette augmentation porte d'ailleurs sur tous les principes nutritifs : azotés, gras ou hydrocarbonés, mais principalement sur ces derniers, ainsi que le montre le tableau. En faisant la moyenne des résultats de ce tableau, on trouve que, de 1882 à 1899, la *ration journalière* du cheval de place a renfermé les quantités suivantes de *principes digestibles :*

Matière sèche	5kg,637
Cellulose	0 ,518
Graisse	0 ,195
Matières azotées	0 ,658
— non azotées	4 ,177

Ces quantités se sont montrées amplement suffisantes pour permettre à un cheval de 400 à 450 kilogr. de s'entretenir, en effectuant tous les deux jours un travail minimum de 1 million de kilogrammètres. (Les chevaux de la Compagnie des voitures font, dans leur jour de sortie, jusqu'à 50, 60 kilomètres et davantage quelquefois.)

On remarquera que le rapport des matières azotées digestibles aux matières non azotées digestibles (la graisse étant calculée en amidon à l'aide du coefficient 2,44) est exprimé, dans cette ration moyenne, par la fraction : 1/7,1, soit 1 kilogr. de matière azotée pour 7kg,100 de matières hydrocarbonées.

Telle est la *relation nutritive* que la Compagnie générale des voitures à Paris a été conduite à adopter pour ses rations, à la suite des essais de l'année 1882. La valeur de ce rapport a été constamment confirmée depuis cette époque, par les expériences poursuivies au laboratoire de recherches. Le passage à 1/7 de la relation nutritive, fixée autrefois à 1/4,5, est un fait d'une importance économique considérable, sur lequel on ne saurait trop insister auprès des agriculteurs et des éleveurs. Il constitue un des points les plus intéressants et des mieux établis par une pratique de vingt années, à savoir : la démonstration des modifications économiques que l'on peut apporter dans le rapport des matières azotées aux matières hydrocar-

bonées, dans la constitution des rations alimentaires des animaux et, en particulier, du cheval.

En 1880, au moment où ont été instituées nos recherches expérimentales, on admettait, presque comme un axiome, que la ration d'*entretien* du cheval devait être composée d'une partie en poids de matières azotées et de cinq à six parties de substances hydrocarbonées (amidon, fécule, sucre, etc.). La ration de travail devait présenter un rapport plus étroit encore : 1 de matières azotées pour 4 ou 5, au plus, d'hydrocarbonées. Nos expériences ont montré, dès le début, et le fait s'est constamment vérifié, que la ration de travail doit, au contraire, être beaucoup plus riche en éléments hydrocarbonés que la ration d'entretien. Nous avons pu, avec grand avantage, au point de vue du travail effectué et de l'état du cheval, étendre la ration nutritive à 1/8, 1/12, 1/5 et même à 1/22 (dans l'alimentation au sucre, comme nous le montrerons plus loin.

La conséquence économique de ces faits est aisée à saisir, le prix vénal du kilogramme de matière azotée dans les fourrages étant, nous l'avons vu, toujours beaucoup plus élevé que celui du même poids d'aliment hydrocarboné.

XI. — Composition des denrées consommées de 1889 à 1899

Les vingt premières années d'expériences que j'ai poursuivies au laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voitures, avec la collaboration successive d'A. Leclerc, Ballacey et Alekan, ont porté sur seize rations différentes par la nature des denrées qui les composaient, mais identiques, comme on l'a vu, sous le rapport de leur teneur en principes nutritifs (voir le tableau page 177).

En 1881, nos chevaux d'expériences ont reçu la ration adoptée cette année-là, sur les indications du laboratoire, pour toute la cavalerie de la compagnie. En 1897, il en a été de même, la ration distribuée aux chevaux d'expériences étant celle que la cavalerie recevait.

Outre ces deux études des rations-mélange, nous avons expérimenté la valeur alimentaire des divers éléments de ces mélanges, fourragés soit isolément, soit associés en nombre restreint, pou

constituer une ration de valeur nutritive équivalente à celle de la ration-mélange. C'est ainsi que nous avons expérimenté successivement les rations suivantes :

1. Foin seul.
2. Avoine seule.
3. Avoine et paille.
4. Maïs et paille d'avoine.
5. Maïs et paille de blé.
6. Féverole.
7. Tourteau.
8. Pomme de terre et paille.
9. Pomme de terre, maïs, féverole et paille.
10. Maltine.
11. Granules cuits.
12. Sucre et foin.
13. Sucre et granules.
14. Sucre et maïs.

Il importe, pour pouvoir suivre utilement les résultats des expériences d'alimentation à l'aide de ces denrées, résultats que nous exposerons plus loin, de connaître leur composition centésimale; elle nous a servi à établir la composition des rations. Le tableau suivant fournit, à ce sujet, des indications complètes que les cultivateurs pourront utiliser pour calculer les substitutions à introduire dans le rationnement de leur bétail.

La contexture de ce tableau ne demande pas d'explications ; elle n'appelle qu'une seule remarque relative à la dernière colonne intitulée *Indéterminés*. Nous désignons sous ce nom les matières autres que celles qui figurent dans les premières colonnes et que leur complexité rend difficiles à caractériser (corps pectiques, pentosanes, etc.), substances dont le rôle dans l'alimentation est jusqu'ici imparfaitement connu.

Douze denrées différentes font l'objet des seize expériences d'alimentation : on peut les ranger en trois catégories :

1° Les grains et analogues : avoine, maïs, féverole, seigle et pommes de terre ;

2° Les fourrages : paille d'avoine, paille de blé et foin ;

3° Les aliments industriels : tourteau, maltine, granules et sucre.

Ces denrées, de qualité irréprochable, ont toujours été tirées des approvisionnements destinés à la cavalerie de la compagnie ; au cours de chaque essai, on a prélevé, à de fréquents intervalles, des échantillons dans les lots consommés par les chevaux d'expériences, et ce sont ces nombreux échantillons qui ont servi aux analyses. Ces analyses représentent donc, aussi exactement que possible, la composi-

tion moyenne des aliments dont il s'agit. Parmi ces aliments, nous ne mentionnerons en particulier que les pommes de terre et le sucre, les autres ayant déjà donné lieu, dans les paragraphes précédents, à des commentaires suffisants : les pommes de terre provenaient de tubercules découpés en cossettes et séchés dans le vide à basse température ; quant au sucre, employé dans trois des expériences, c'était du sucre cristallisé, dit *sucre roux de premier jet*.

Composition moyenne centésimale des denrées d'expériences.

DENRÉES	EAU	MATIÈRE sèche	CENDRES	MATIÈRES azotées	CELLULOSE brute	CELLULOSE sacchari-fiable	GLUCOSE	SACCHAROSE	AMIDON	GRAISSE	INDÉTER-MINÉS
	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o
Mélange 1881											
Avoine	13,57	86,43	3,54	9,61	3,22	Comprise avec l'amidon	1,00	»	46,61	4,35	13,1[illegible]
Maïs.	13,31	86,69	1,57	9,66	1,54		1,43	»	64,52	3,09	4,88
Féverole.	9,95	90,05	4,48	28,54	5,92		1,66	»	45,48	1,88	2,59
Tourteau	12,10	87,90	1,58	18,41	2,71		0,35	»	51,69	8,80	4,86
Foin.	13,96	86,04	7,41	8,[illegible]3	20,44		0,58	»	21,23	1,43	26,42
Paille	15,09	84,91	5,40	2,97	29,48		0,38	»	22,22	1,45	26,06
Foin											
Foin.	13,33	86,82	7,22	6,89	18,86	15,58	3,10	»	5,16	2,05	27,76
Avoine seule											
Avoine	14,34	85,66	3,01	11,28	9,3[illegible]	Comprise avec les indéterminés	1,40	»	10,20	3,68	16,75
Avoine et paille											
Avoine	13,60	86,40	3,12	10,53	7,44	Comprise avec les indéterminés	0,93	»	42,59	3,73	18,06
Paille	12,01	87,99	5,75	2,93	26,33		0,74	»	4,47	1,71	46,06
Maïs et paille d'avoine											
Maïs.	13,38	86,62	1,52	9,86	2,95	3,09	1,90	»	62,69	4,02	0,59
Paille d'avoine. .	13,66	86,31	5,52	2,62	31,09	16,37	1,62	»	2,69	1,96	24,47
Maïs et paille de blé											
Maïs.	15,49	84,51	0,84	9,32	2,15	2,82	2,57	»	58,46	3,64	4,71
Paille de blé. . .	15,17	84,83	7,21	3,02	25,79	13,30	2,87	»	3,36	0,92	28,36
Féverole											
Féverole.	12,41	87,59	4,05	24,23	5,58	5,01	3,91	»	40,28	1,25	8,28
Paille d'avoine. .	14,57	85,43	5,55	3,19	27,07	14,06	2,30	»	5,27	1,96	25,73

DENRÉES	EAU	MATIÈRE sèche	CENDRES	MATIÈRES azotées	CELLULOSE brute	CELLULOSE saccharifiable	GLUCOSE	SACCHAROSE	AMIDON	GRAISSE	INDÉTERMINÉS
	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o
Tourteaux											
Tourteau	11,06	88,94	6,76	18,72	6,67	5,96	2,42	»	28,45	4,91	15,05
Paille d'avoine. .	13,73	86,27	5,71	3,31	29,51	13,74	1,50	»	4,98	1,55	25,94
Pomme de terre et paille											
Pomme de terre .	12,93	87,07	3,81	7,85	2,70	2,73	1,85	»	63,47	0,36	4,30
Paille d'avoine. .	12,70	87,30	5,58	3,90	32,06	16,94	0,93	»	2,20	1,86	23,88
Mélange de pomme de terre, maïs et féverole avec paille											
Mélange.	13,36	86,64	2,95	10,08	4,11	2,82	1,39	»	61,58	1,72	1,99
Paille d'avoine. .	17,16	82,84	5,50	3,25	29,27	16,56	0,75	»	2,51	1,96	22,94
Maltine											
Maltine	9,18	90,82	5,66	25,55	4,13	5,88	5,07	»	18,40	9,15	16,98
Maïs.	12,28	87,72	1,24	9,60	1,23	6,25	2,56	»	60,41	2,56	2,80
Paille d'avoine. .	12,88	87,12	5,06	2,66	30,27	16,38	1,27	»	2,84	1,65	26,97
Granules cuits											
Granules.	7,53	92,47	4,10	23,39	10,49	6,56	2,05	»	32,49	5,96	7,43
Paille d'avoine. .	10,32	89,68	4,89	2,40	36,01	27,28	2,04	»	1,72	1,72	13,62
Mélange 1897											
Avoine	12,23	87,77	3,34	12,68	11,39	11,63	1,32	»	34,52	5,89	7,00
Maïs.	12,37	87,63	1,18	10,01	3,47	7,32	2,22	»	53,79	4,16	5,48
Seigle	12,89	87,11	1,85	8,85	3,68	8,15	2,80	»	51,78	1,79	8,23
Maltine	9,62	90,38	5,53	28,20	7,65	9,28	5,49	»	13,31	9,98	10,94
Tourteaux	12,87	87,13	6,29	20,62	10,87	11,46	1,72	»	19,02	5,73	11,42
Paille d'avoine. .	14,08	85,92	5,81	3,07	32,67	16,47	1,08	»	3,22	1,90	21,80
Sucre et foin											
Sucre	0,80	99,20	0,45	»	»	»	1,36	97,39	»	»	»
Foin	13,62	86,38	7,19	6,52	25,30	12,46	2,19	»	4,11	1,38	27,23
Sucre et granules											
Sucre	0,86	99,14	0,38	»	»	»	1,69	97,07	»	»	»
Granules	13,00	87,00	5,52	22,29	10,88	4,40	2,43	»	20,02	6,20	15,26
Maïs.	12,37	87,63	1,31	9,55	3,29	2,60	0,98	»	59,14	4,14	7,27
Paille d'avoine. .	12,62	87,38	5,46	2,39	33,13	13,69	0,48	»	2,42	1,59	28,22
Sucre et maïs											
Sucre	1,07	98,93	0,42	»	»	»	1,48	97,03	»	»	»
Maïs.	13,66	86,34	1,29	9,42	3,94	2,74	1,41	»	57,06	3,48	6,80
Paille d'avoine. .	16,15	83,85	6,04	2,36	23,61	13,90	0,63	»	2,47	1,37	23,47

La composition générale de ces denrées donne lieu aux remarques suivantes :

1° La teneur en matière sèche a pour valeurs extrêmes : 83 °/₀ dans la paille et 99 °/₀ dans le sucre ; elle est plus constante dans les grains et les aliments industriels que dans la paille et plus élevée, en général, dans les aliments industriels que dans les grains et la paille.

2° La teneur en cendres totales varie de 0,38 °/₀ dans le sucre à 7,41 °/₀ dans le foin ; les fourrages bruts (paille et foin) sont plus riches en cendres que toutes les autres denrées, mais il faut tenir compte de la part importante de la silice dans leur teneur élevée en matières minérales. D'après leur richesse en cendres, les denrées expérimentées se classent comme suit :

Foin, paille, maltine, tourteau, granules, féverole, pommes de terre, avoine, seigle, maïs et sucre ; c'est-à-dire : fourrages, aliments industriels et grains en dernier lieu ;

3° Au point de vue des matières azotées, les aliments industriels (sauf le sucre, bien entendu) viennent en tête avec des teneurs allant de 18 à 20 °/₀ ; la féverole peut être placée sur le même rang que la maltine, puis viennent les autres grains : avoine, maïs, seigle et, enfin, la pomme de terre et les fourrages (foin et paille). Les teneurs extrêmes étant de 2,36 °/₀ dans la paille d'avoine et de 28,54 °/₀ dans la féverole, on voit que l'écart est bien supérieur à celui que l'on trouve pour la matière sèche et les cendres. La même denrée présente d'ailleurs, suivant l'année et la provenance, des différences sensibles dans le taux des matières azotées ; ces différences se sont élevées à 4 °/₀ dans la féverole et à 3 °/₀ dans l'avoine, mais n'ont jamais atteint 1 °/₀ dans le maïs. Il est vrai de dire que les provenances ont été beaucoup plus variées pour les deux premières denrées que pour le maïs, et que, pour l'avoine en particulier, on a toujours constaté une richesse plus grande dans l'avoine d'Amérique que dans celles de France ou de Russie, à qualité égale.

Dans la plupart des analyses, la cellulose saccharifiable a été distinguée de la cellulose brute. La cellulose saccharifiable, comme nous le verrons, a un coefficient de digestibilité plus élevé que la cellulose brute.

On voit, en jetant un coup d'œil sur le tableau précédent, toute l'importance de la cellulose saccharifiable dans les aliments du cheval ; dans les fourrages, il y en a environ moitié autant que de cellulose brute ; dans les grains et les résidus industriels, autant et quelquefois davantage. Il semble donc intéressant de doser à part cet élément, dont nous verrons ultérieurement le degré de digestibilité.

Le glucose est en faible proportion dans toutes les denrées expérimentées ; les aliments industriels, comme la maltine, en contiennent pourtant plus que les autres. Quant au saccharose (sucre de canne), il constitue plus des 97 °/₀ du sucre brut employé ; on voit par là combien est grande la pureté de cet aliment.

L'amidon se présente en quantités beaucoup plus variables que le glucose, d'une denrée à l'autre ; le maïs et le seigle viennent au premier rang avec la pomme de terre ; la féverole et l'avoine se classent ensuite, puis les aliments industriels, dont la teneur en amidon varie beaucoup avec les traitements subis ; enfin, en dernier lieu, les fourrages.

En ce qui concerne la graisse, on n'en trouve de quantités un peu notables que dans les tourteaux et surtout dans la maltine ; on remarquera, à ce propos, la richesse relative en graisse des avoines d'Amérique (expériences du mélange de 1897), dont j'ai signalé plus haut la teneur élevée en azote.

XII. — Composition minérale des aliments du cheval

On sait de quelle importance sont, pour la nutrition des animaux, les matières minérales, notamment l'acide phosphorique et les bases (chaux, magnésie, etc.) qui forment la trame osseuse et entrent dans la constitution de tous les tissus et liquides de l'organisme. Pour compléter le tableau de la composition des denrées d'expériences, il a été fait au laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voitures de très nombreuses analyses de cendres des aliments consommés par la cavalerie. Je me bornerai à reproduire ici, à titre d'exemple, les résultats relatifs à la ration-mélange de 1897 (voir le tableau de la page 182).

Les denrées analysées sont : l'avoine, le maïs, le seigle, la paille, les tourteaux, la maltine et les granules fabriqués par la compagnie.

Composition moyenne minérale des denrées d'expériences (1897-1898).

DENRÉES	SILICE	ACIDE phosphorique	ACIDE sulfurique	CHLORE	CHAUX	MAGNÉSIE	POTASSE	SOUDE	OXYDE DE FER	ALUMINE
	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o
Avoine.	1,63	0,74	0,53	0,31	0,16	0,22	0,45	0,25	0,03	0,02
Maïs	0,03	0,52	0,33	0,23	0,02	0,18	0,28	0,15	0,02	0,03
Seigle	0,09	0,71	0,35	0,28	0,09	0,20	0,42	0,19	0.02	0,03
Paille	2,02	0,17	0,50	0,82	0,53	0,19	1,24	0,84	0,05	0,02
Tourteau. . . .	1,11	1,05	1,27	1,33	0,82	0,28	0,87	0,67	0,17	0,12
Maltine.	0,37	1,70	0,94	0,71	1,12	0,55	0,80	0,30	0,16	0,07
Granules	»	1,65	»	»	0,21	»	»	»	»	»

En parcourant les chiffres de ce tableau, on constate les faits suivants :

La paille, l'avoine et les tourteaux contiennent bien plus de silice que les autres aliments expérimentés, c'est-à-dire que la maltine, le seigle et surtout le maïs. Les denrées les plus riches en acide phosphorique sont les *résidus industriels :* maltine, granules et tourteaux. Parmi les grains, l'avoine et le seigle en contiennent davantage que le maïs, mais l'écart est moins grand pour la silice ; quant à la paille, elle vient au dernier rang. En désignant par 1 la quantité moyenne d'acide phosphorique des résidus industriels sur lesquels nous avons opéré, celle de l'avoine et du seigle équivaut à 1/2, celle du maïs à 1/3 et celle de la paille à 1/10.

En ce qui concerne le soufre et le chlore, les tourteaux et la maltine sont plus riches que les autres aliments. De même pour la chaux et la magnésie ; mais il est bon de noter que les teneurs en magnésie des différentes denrées, sauf la maltine, sont très voisines les unes des autres.

D'autre part, c'est la paille qui renferme le plus de potasse et de

soude, et ce sont les aliments industriels qui ont la plus forte teneur en fer et en alumine.

On peut résumer ainsi ces divers résultats :

1° Les résidus d'industrie employés aux expériences sont plus minéralisés, d'une façon générale, que la paille et les grains, surtout sous le rapport de l'acide phosphorique, de la chaux, de la magnésie et de l'oxyde de fer.

2° La paille renferme surtout de la silice et des bases alcalines.

3° Parmi les grains utilisés, l'avoine est plus riche que le seigle, surtout en silice et en chaux, et celui-ci plus que le maïs ; mais les différences de teneurs sont moindres pour l'acide phosphorique et la magnésie que pour les autres éléments.

La composition minérale des denrées de quelques-unes de nos rations expérimentales n'a été déterminée que dans le but d'établir le degré d'utilisation des principes minéraux ingérés par le cheval dans les diverses situations de repos, marche ou travail. Aussi avons-nous, outre les aliments, analysé encore la boisson, les fèces et les urines de nos trois chevaux d'expériences, pour dresser ensuite le bilan journalier de chaque principe minéral.

Ce travail délicat, poursuivi pendant plusieurs mois, ne nous a donné des résultats bien nets qu'en ce qui concerne l'acide phosphorique ; les moyennes de ces résultats sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Statique journalière de l'acide phosphorique

PÉRIODES	ENTRÉE	SORTIE	BALANCE
	grammes	grammes	grammes
Mélanges 1897 :			
Repos	32,898	32,025	+0,873
Marche	28,037	25,707	+2,330
Travail	45,489	39,981	+5,508
Moyennes	35,478	32,571	+2,907
Sucre et maïs :			
Marche	25,918	23,885	+2,033
Travail modéré	25,137	31,133	−5,596
Travail intense	34,666	30,494	+4,172
Moyennes	28,574	28,504	+0,070

La différence entre les entrées et les sorties correspond aux quantités d'acide phosphorique retenues dans le corps de l'animal ou perdues par lui dans les vingt-quatre heures.

Il est bon de noter que l'acide phosphorique, représenté ici comme sorti, comprend à la fois celui des fèces et celui des urines, qu'on n'a pas distingués dans le tableau pour éviter des complications. C'est par les fèces que se fait la majeure partie de l'élimination de l'acide phosphorique (22 à 34 grammes par jour); mais l'élimination de ce corps par l'urine n'est cependant pas négligeable, car on peut l'évaluer à environ 3 grammes par jour. On voit sur le tableau que, sauf dans un cas (travail modéré avec régime sucre et maïs), l'entrée a été, en général, supérieure à la sortie et qu'il y a eu en moyenne :

Avec la ration de la compagnie, un gain journalier de 3 grammes d'acide phosphorique ;

Avec la ration sucre et maïs, un équilibre journalier d'acide phosphorique.

Il est vrai que cette dernière ration ne comprenait en moyenne que 28 grammes par jour d'acide phosphorique, tandis que l'autre en contenait plus de 35 grammes.

Il semble résulter de ces essais que 25 grammes d'acide phosphorique ingérés par jour ont été suffisants pour des chevaux de 400 à 450 kilogr. n'effectuant d'autre travail mécanique que le transport de leur propre poids sur une longueur de 20 kilomètres (marche), mais que cette quantité s'est montrée insuffisante dès qu'on leur a demandé un travail supplémentaire, si modéré qu'il fût. Avec 35 grammes d'acide phosphorique dans leur ration, ils en ont fixé davantage, tout en effectuant un travail double du précédent, et, avec 45 grammes (mélange, période de travail), la fixation a été encore supérieure, bien que la quantité de travail produit ait été deux fois et demie celle de la période dite *de travail modéré* avec l'alimentation sucre-maïs.

Nous n'avons pas pu établir jusqu'ici, par nos expériences, de relation (au moins chez l'animal adulte en bon état) entre les variations des poids vifs et la fixation d'acide phosphorique.

XIII. — Composition des rations moyennes

(*Rations d'entretien — Rations de marche — Rations de travail*)

Les deux points dont la connaissance est indispensable pour établir les quantités journalières de principes nutritifs ingérées dans les expériences d'alimentation sont :

1° La composition chimique des aliments composant les rations ;

2° Le poids des aliments consommés chaque jour.

J'ai exposé précédemment le premier point (voir le tableau de la page 181) ; il me reste à faire connaître le second.

Le tableau ci-contre indique les poids d'aliments consommés, en moyenne, par cheval et par jour dans chaque expérience, au repos, à la marche et au travail. Les douze aliments sont ceux dont nous avons donné la composition chimique (p. 181). L'examen du tableau montre combien, d'un régime à l'autre, ont varié le nombre, la nature et le poids des aliments. Les rations ont comporté tantôt un seul aliment (avoine ou foin), tantôt deux (grain ou résidu industriel, avec paille), tantôt davantage (trois, quatre et même six dans les mélanges de 1881 et 1897) ; les aliments qui les constituaient ont été parfois très riches en matières azotées (féverole, tourteau, granules, maltine) et parfois très pauvres en ces substances (pommes de terre, sucre et foin, sucre et maïs). De toutes ces différences est résultée une très grande variation dans le poids consommé de chaque aliment ; aussi n'est-il pas étonnant que, dans les rations de repos, l'avoine consommée par jour ait varié de 900 grammes à plus de 5 kilogr. ; le maïs, de $1^{kg},400$ à $4^{kg},500$; la féverole, de 400 grammes à 4 kilogr. ; la paille, de 500 grammes à 4 kilogr. ; le foin, de 1 à 8 kilogr. ; les aliments industriels, de 200 grammes à 4 kilogr. ; et le sucre, de 600 grammes à $2^{kg},400$ dans les rations moyennes.

Quant au poids total de la ration, il atteint son minimum avec le régime à l'avoine seule (moins de 4 kilogr.) ; c'est là, d'ailleurs, une quantité absolument insuffisante, mais il nous a été impossible d'en faire consommer davantage aux chevaux en expérience. Avec

Composition moyenne des rations consommées par cheval et par jour.

EXPÉRIENCES	ÉLÉMENTS des rations	RATIONS de repos	de marche	de travail	Moyennes
		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Mélange 1881	Avoine	1,912	2,164	2,952	2,400
	Maïs	1,411	1,600	2,180	1,775
	Féverole	0,408	0,464	0,632	0,510
	Tourteau	0,280	0,316	0,432	0,350
	Foin	1,014	1,148	1,568	1,275
	Paille	0,548	0,620	0,848	0,690
	Total	5,573	6,312	8,612	7,000
Foin	Foin	8,000	9,400	14,250	10,490
Avoine seule	Avoine	3,971	3,338	4,310	3,875
Avoine et paille	Avoine	5,331	5,500	6,600	5,845
	Paille	2,267	2,500	2,492	2,390
	Total	7,598	8,000	9,092	8,235
Maïs et paille d'avoine	Maïs	4,513	5,542	5,443	4,980
	Paille d'avoine	2,562	2,638	2,563	2,590
	Total	7,105	8,080	8,006	7,570
Maïs et paille de blé	Maïs	4,481	4,725	5,029	4,747
	Paille de blé	2,403	2,419	2,443	2,347
	Total	6,884	7,144	7,272	7,094
Féverole	Féverole	4,052	5,000	7,059	5,212
	Paille	3,885	3,972	3,214	3,676
	Total	7,937	8,972	10,273	8,888
Tourteau	Tourteau	4,000	5,000	6,564	5,192
	Paille	3,995	4,481	3,812	4,011
	Total	7,995	9,481	10,376	9,203
Pomme de terre et paille	Pomme de terre	4,150	5,032	5,637	4,870
	Paille	1,801	2,062	1,877	1,884
	Total	5,951	7,094	7,514	6,754

EXPÉRIENCES	ÉLÉMENTS des rations	RATIONS de repos	de marche	de travail	Moyennes
		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Pomme de terre, grains et paille	Pomme de terre	2,000	»	3,056	2,528
	Maïs	1,500	»	2,292	1,896
	Féverole	0,500	»	0,764	0,632
	Paille	2,193	»	1,951	2,072
	Total	6,193	»	8,063	7,128
Maltine	Maltine	1,259	1,592	1,964	1,545
	Maïs	4,104	4,541	4,679	4,470
	Paille	2,190	2,339	2,244	2,240
	Total	7,553	8,472	8,887	8,155
Granules cuits	Granules	»	»	4,000	4,000
	Paille	»	»	4,000	4,000
	Total	»	»	8,000	8,000
Mélange 1897	Avoine	0,900	1,210	1,693	1,278
	Maïs	2,217	2,100	2,940	2,476
	Seigle	0,234	0,190	0,257	0,234
	Maltine	0,209	0,200	0,262	0,228
	Tourteau	0,417	0,440	0,614	0,511
	Paille	1,460	1,360	1,904	1,613
	Total	5,467	5,500	7,670	6,340
Sucre et foin	Sucre	»	»	0,600	0,600
	Foin	»	»	10,267	10,267
	Total	»	»	10,867	10,867
Sucre et granules	Sucre	»	»	2,200	2,200
	Granules	»	»	1,500	1,500
	Maïs	»	»	2,000	2,000
	Paille	»	»	2,500	2,500
	Total	»	»	8,200	8,200
Sucre et maïs	Sucre	»	2,400	2,375	2,381
	Maïs	»	2,800	3,600	3,400
	Paille	»	2,500	2,500	2,500
	Total	»	7,700	8,475	8,281

le foin et le sucre, nous trouvons, au contraire, une ration de poids maximum (10^{kg},867), et si nous considérons l'ensemble des expériences, en mettant de côté les cas exceptionnels, nous voyons que le poids moyen d'une *ration de repos,* composée de grains, de fourrages et d'aliments industriels, a été d'environ 6 kilogr. par jour. C'est, du reste, à ce résultat qu'aboutissent les essais de 1881 et 1897 sur les mélanges utilisés par la Compagnie générale des voitures, puisque, dans les deux cas, la ration de repos, reconnue d'ailleurs suffisante, comme nous le verrons plus loin, a été voisine de 5^{kg},500 par jour. On remarquera, cependant, que les deux rations dont il s'agit étaient composées différemment : celle de 1897, renfermant moins d'avoine, pas de féverole ni de foin, mais plus de maïs, de paille et de tourteau, ainsi que du seigle et de la maltine. C'est même la grande différence existant entre les éléments de ces rations qui nous a conduits à les étudier comparativement. Nous verrons plus loin comment se sont comportés les chevaux soumis à des régimes aussi variés.

Les rations de travail et même celles de transport s'étant montrées un peu faibles, comme nous le constaterons plus loin, il convient de ne pas considérer comme définitifs les résultats moyens ainsi obtenus, mais de les regarder plutôt comme de simples points de départ d'expériences nouvelles.

Les essais du laboratoire, exécutés de 1880 à 1882, m'avaient conduit à fixer, entre le poids des rations de repos, de transport et de travail, les relations suivantes : 1 étant le poids de la ration de repos, les poids respectifs des deux autres étaient 1,1 et 1,5 dans les conditions où les essais avaient eu lieu. Il semble résulter de l'ensemble des expériences effectuées depuis cette époque que ces rapports doivent être considérés comme des minima. Il faut se souvenir d'ailleurs que ces résultats s'appliquent à des chevaux de 400 à 450 kilogr., transportant journellement leur propre poids sur une longueur de 20 kilomètres (marche) ou produisant chaque jour 500 000 à 600 000 kilogrammètres de travail extérieur mesurable (travail).

Nous reviendrons à cette importante question des relations de la ration avec le travail des animaux.

XIV. — Coefficients de digestibilité des principes nutritifs

(*Substance sèche, matière azotée, graisse, glucose, amidon, celluloses*)

Jusqu'ici nous avons examiné les résultats de nos études concernant :

1° La composition chimique des fourrages d'expérience ;

2° La consommation journalière des mêmes fourrages.

Nous avons ainsi établi, pour chaque régime étudié, les *quantités journellement ingérées* des différents principes nutritifs. Pour connaître les quantités de principes nutritifs réellement utilisées par l'animal, il faut déterminer les *quantités non digérées* de ces mêmes principes. Elles se déduisent de la composition chimique et du poids des fèces rendues. Par différence avec les quantités ingérées, on connaît les *quantités digérées* de chaque élément nutritif, quantités qui, rapportées à 100 parties en poids d'élément ingéré, représentent ce qu'on nomme les *coefficients de digestibilité* de chacun des éléments de la ration.

Le tableau ci-contre indique les coefficients moyens de digestibilité trouvés pour les principes nutritifs les plus importants au cours de seize expériences différentes. Ces coefficients moyens ont été établis, dans chaque essai, à l'aide des coefficients obtenus pour un même principe nutritif sur les différents chevaux observés au repos, à la marche et au travail à différentes allures ; en procédant ainsi, on atténue l'influence de l'individualité et celle de la situation de l'animal en expérience, et l'on obtient des résultats pouvant être généralisés avec une plus grande certitude. Comme il est toujours facile de se reporter aux mémoires originaux (V. ces *Annales*), si l'on désire connaître le détail des coefficients de chaque expérience, nous nous bornerons ici à donner le résumé des résultats obtenus.

On remarquera que la digestibilité de la *substance organique* est toujours supérieure à celle de la substance sèche, d'environ 1,50 à 2,50 °/₀. Les coefficients de digestibilité des *cendres* ont été omis pour insuffisance de précision, par suite de la difficulté de récolter les fèces sans entraînement de matières minérales étrangères. Quant

Coefficients moyens de digestibilité

EXPÉRIENCES	SUBSTANCES		CENDRES	MATIÈRES	GRAISSE	GLUCOSE	AMIDON	CELLULOSE		INDÉTERMINÉS
	sèche	organique		azotées				brute	saccharifiable	
Mélange 1881	67,58	70,30	12,44	71,47	57,55	100,0	85,53 (1)	41,23	»	41,75
Foin	41,72	42,66	35,33	42,77	9,36	100,0	83,54	36,14	41,71	35,29
Avoine seule	71,74	73,82	» (4)	78,61	75,26	100,0	98,35	49,42	»	(2) 21,71
Avoine et paille d'avoine	58,46	60,10	» (4)	65,90	67,19	100,0	95,18	31,67	»	(3) 26,89
Maïs et paille d'avoine	70,57	71,95	» (4)	61,14	57,83	100,0	97,74	47,06	44,95	16,61
Maïs et paille de blé	69,26	71,70	» (4)	70,17	66,32	100,0	98,15	34,39	39,51	28,06
Féverole et paille d'avoine	62,93	65,02	» (4)	75,48	» (5)	100,0	94,34	37,13	49,41	32,96
Tourteau et paille d'avoine	52,24	54,63	» (4)	67,41	39,15	100,0	90,53	34,87	39,30	36,14
Pomme de terre, paille d'avoine	74,34	75,77	47,68	47,35	» (5)	100,0	99,18	41,35	50,05	38,10
Pomme de terre, maïs, féverole et paille d'avoine	75,73	77,12	45,23	55,43	33,21	100,0	98,10	57,76	54,16	30,90
Maltine, maïs et paille d'avoine	71,87	73,83	» (4)	61.12	59,65	100,0	98,79	43,80	58,09	41,98
Granulés cuits et paille d'avoine	55,43	57,20	» (4)	60,22	44,23	100,0	100,0	47,00	55,79	7,39
Mélange 1897	72,31	74,27	22,78	73,81	59,54	100,0	99,36	48,70	64,90	38,46
Sucre et foin	50,76	52,01	36,12	46,73	» (5)	100,0	76,32	38,95	49,79	52,45
Sucre et granulés	74,08	76,87	» (5)	67,66	54,70	100,0	99,87	42,31	35,40	56,44
Sucre et maïs	78,40	79,93	25,48	64,63	57,64	100,0	99,71	44,99	43,24	44,42

1. Amidon et cellulose saccharifiable.
2 et 3. Indéterminés et cellulose saccharifiable par différence.
4. Coefficients non calculés.
5. Coefficients négatifs.

aux *indéterminés*, ces substances étant dosées par différence et supportant toutes les erreurs d'analyse, leurs coefficients de digestibilité nous ont paru présenter un intérêt secondaire.

Les résultats que ce tableau contient permettent de se faire une idée d'autant plus exacte de la valeur comparative des seize rations étudiées, que chaque expérience a duré, en général, de six mois à un an. Ces résultats, qui sont enregistrés, comme précédemment, par ordre chronologique, donnent lieu à un certain nombre de remarques:

La digestibilité de la *matière sèche* d'une ration peut être regardée comme résumant à elle seule la digestibilité de cette ration tout entière; la variation du coefficient de digestibilité de la matière sèche indique alors, d'un régime à l'autre, la différence de digestibilité de ces régimes. Nous constatons ainsi que la matière sèche est digérée au maximum avec le *sucre et le maïs* (78,40 °/₀), et au minimum avec le *foin* donné seul (41,72 °/₀), et qu'en moyenne le cheval digère 65 à 70 °/₀ d'une ration normale. Les rations les mieux digérées sont celles qui contiennent surtout des aliments *hydrocarbonés :* sucre, pommes de terre, graines de céréales, ou encore les rations mixtes contenant à la fois des grains, des résidus industriels et une faible proportion de fourrages bruts (mélanges de 1881 et de 1897).

Les *fourrages bruts,* comme le foin et la paille, sont mal digérés par le cheval et *dépriment* la digestibilité des aliments auxquels on les associe ; ce fait ressort très nettement des essais à l'avoine seule et à l'avoine additionnée de paille : l'addition de paille à une ration d'avoine a abaissé la digestibilité de cette dernière de 71 à 58 °/₀. Les résultats trouvés avec les rations dites *mélanges* en sont encore une nouvelle preuve ; le mélange de 1897, dans lequel il n'y avait pas de foin, et où la proportion de fourrage brut était un peu moindre que dans le mélange de 1881, a été plus complètement digéré que ce dernier. Dans le même ordre d'idées, on remarquera que si les rations de féverole, de tourteau et de granules ont été médiocrement digérées dans leur ensemble, peut-être doit-on l'attribuer à la forte proportion de paille ajoutée à ces divers aliments. Au contraire, l'*introduction du sucre* dans une ration en *augmente* la digestibilité : le maïs avec paille d'avoine a pour coefficient de digestibilité

70 °/₀, tandis que ce coefficient dépasse 78 °/₀ avec le maïs et la paille d'avoine additionnés de sucre.

En ce qui concerne les *matières azotées,* nous remarquerons qu'il s'agit ici des *matières azotées totales,* calculées d'après l'azote total à l'aide du coefficient 6,25. Les matières azotées les mieux digérées sont celles des rations suivantes : avoine seule, féverole et paille, mélanges de 1897 et 1881, maïs et paille de blé : dans ces différents cas, la digestibilité de l'azote a dépassé 70 °/₀. Entre 70 et 60 °/₀ de digestibilité, viennent se ranger les rations de tourteau, de sucre, (sauf avec foin), d'avoine et paille, de maïs et paille d'avoine, de maltine et de granules. Enfin, les pommes de terre et le foin viennent en dernier lieu avec 43 à 55 °/₀ seulement de leur azote digérés. Dernière remarque : la fermentation ne paraît pas modifier la digestibilité de la matière azotée du maïs ; la maltine, donnée avec maïs et paille d'avoine, a exactement le même coefficient de digestibilité que le maïs et la paille d'avoine donnés seuls (61 °/₀).

Quant à la *graisse,* nous rappellerons qu'on désigne ainsi l'ensemble des substances extraites des aliments et des fèces par des dissolvants comme le sulfure de carbone et l'éther ; cette dénomination englobe donc des corps de nature très différente (graisse, chlorophylle, résines, cire, produits biliaires et produits de sécrétion intestinale). Il en résulte que, pour la graisse, on ne peut réellement compter sur des coefficients comparables que s'il s'agit d'alimentations très voisines. Cette réserve se justifie quand on constate que, pour trois de nos rations : pommes de terre, féverole, foin et sucre, on n'a pas pu établir les coefficients de digestibilité de la graisse, la sortie de cette matière par les fèces ayant été supérieure à l'entrée par la ration ; ce fait est dû à ce que, dans les fèces, on dose parfois comme graisse des corps tout différents de ceux qu'on dose dans les aliments (produits de la bile, etc.), et que, dans certains cas, la ration contenant très peu de graisse, les fèces renferment pourtant une quantité notable de principes d'origines biliaire ou intestinale.

Ces anomalies mises à part, on voit sur le tableau que la digestibilité de la graisse, minima avec le foin seul (9 °/₀), est maxima avec l'avoine seule (75 °/₀), qu'elle subit une dépression de 75 à 67 °/₀ quand on ajoute de la paille à la ration d'avoine, qu'elle se maintient

entre 66 et 60 °/₀ avec le maïs, fermenté ou non, qu'elle est de 60 °/₀ dans nos mélanges, qu'elle n'est pas influencée par l'introduction du sucre, mais qu'elle tombe à 44 °/₀ puis à 39 °/₀ avec les granules et les tourteaux, quand ces fourrages sont associés à une forte proportion de paille.

Les détails qui précèdent nous permettent d'être très bref en ce qui concerne les principes hydrocarbonés. Le tableau (p. 193) ne renferme que les coefficients moyens de digestibilité des principes hydrocarbonés les plus importants, coefficients obtenus comme nous l'avons indiqué plus haut. Ces principes ont été rapportés à quatre groupes : *glucose, amidon, cellulose brute* et *cellulose saccharifiable,* pour chacun desquels nous allons examiner les résultats de nos expériences.

Remarquons d'abord que le terme *glucose* désigne ici l'ensemble des matières sucrées de nos fourrages ; il faut donc lui donner le sens général de *sucres.* On constate à première vue que les sucres ont été intégralement digérés, avec les alimentations les plus diverses et quelle que soit leur proportion dans la ration. Que la ration journalière en contienne 60 grammes, comme dans l'essai à l'avoine, ou 2 400 grammes comme avec le sucre et le maïs, il est impossible d'en retrouver la moindre trace, pas plus dans les fèces que dans les urines : *les sucres sont donc totalement digérés et utilisés.*

La digestibilité de l'*amidon* s'est montrée en général très élevée, mais plus variable toutefois que celle du glucose ; les limites extrêmes ont été de 76 °/₀, au minimum, avec le *foin et le sucre,* et de 100 °/₀ avec les granules cuits. L'amidon du foin ayant un coefficient de digestibilité de 83 °/₀, c'est donc avec les rations de foin que l'amidon est le moins bien digéré, et, dans ce cas, la présence du sucre ne modifie pas la digestibilité de l'amidon. Le maximum trouvé pour les granules indique que la cuisson exerce une influence favorable et, d'autre part, la comparaison entre l'avoine seule et l'avoine avec paille montre que la dépression constatée pour la matière sèche totale ne porte pas sur l'amidon. Les aliments amylacés (avoine, maïs, pommes de terre) présentent des coefficients identiques (98 à 99 °/₀), tandis que la féverole (comme d'ailleurs le tourteau) a donné des résultats un peu faibles, la méthode d'analyse employée ayant fait compter comme amidon une partie de la cellulose des fèces. Enfin, dans le mélange

de 1881, l'amidon accuse une digestibilité bien inférieure à celle du mélange de 1897 ; nous devons observer que ces deux cas ne sont pas comparables, l'amidon et la cellulose saccharifiable n'ayant pas été séparés l'un de l'autre dans les analyses de 1881.

En ce qui concerne les *celluloses,* le tableau montre qu'elles sont beaucoup moins bien digérées que les autres principes hydrocarbonés et que la cellulose saccharifiable est généralement mieux assimilée que la cellulose brute. Avec la ration de *pommes de terre et grains,* on constate un maximum de plus de 57 °/₀ de cellulose brute digérée ; mais, par contre, on trouve un minimum de 31 °/₀ avec l'*avoine et la paille.* On peut également noter la faible digestibilité de la cellulose brute dans les deux essais au *foin* et dans ceux où la ration contenait beaucoup de paille (féverole, tourteau) ; seuls, les granules semblent faire exception à ce fait, mais alors on peut se demander s'il ne faut pas y voir l'influence de la cuisson. La comparaison des expériences à l'avoine et au maïs montre encore que la cellulose brute, moins digestible dans l'avoine que dans le maïs, l'est davantage dans la paille d'avoine que dans la paille de blé. Quant au sucre, son influence paraît nulle ou peu sensible sur l'assimilation de la cellulose brute.

Ce sont les rations sucrées (granules et sucre, maïs et sucre) qui ont donné les coefficients les plus faibles pour la *cellulose saccharifiable ;* ces deux cas mis à part, ce dernier élément accuse presque toujours une digestibilité meilleure et variant dans le même sens que celle de la cellulose brute.

XV. — Principes nutritifs ingérés par jour

Nous avons indiqué précédemment[1] comment, à l'aide des coefficients de digestibilité de chacun des principes nutritifs constituant les éléments des rations alimentaires, on arrive à évaluer les quantités de chacun de ces principes qui ont été digérées, chaque jour, par les chevaux dans les diverses séries d'expériences exécutées de 1881 à 1900 au laboratoire de recherches de la Compagnie générale des voi-

1. Voir pages 192 et 203.

I. — Principes nutritifs journellement ingérés

EXPÉRIENCES	SITUATIONS	MATIÈRE sèche totale	MATIÈRES azotées	GRAISSE	SUCRE	AMIDON	CELLULOSE saccharifiable	CELLULOSE brute
		Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes
Mélange 1881	Repos	4 807,4	580,3	170,5	59,2	2 4[illegible]0,6		564,5
	Marche	5 424,2	632,3	187,7	68,8	2 796,4		633,6
	Travail	7 795,9	949,1	287,4	91,1	4 049,1		896,4
Moyenne		6 121,7	741,7	220,7	73,8	3 173,1		710,5
Foin	Repos	6 966,3	550,7	164,1	243,6	396,1	1 279,2	1 511,9
	Marche	8 038,9	651,1	188,5	306,4	535,6	1 346,7	1 753,2
	Travail	12 367,3	983,5	201,0	441,5	735,5	2 239,7	2 693,6
Moyenne		9 124,2	728,4	214,5	330,8	555,8	1 618,5	1 986,2
Avoine seule	Repos	3 403,7	448,3	144,5	56,3	1 602,2	641,1 (¹)	382,4
	Marche	3 575,0	460,7	157,3	62,0	1 669,6	684,9	408,6
	Travail	3 693,2	474,7	158,7	62,8	1 700,3	711,8	436,8
Moyenne		3 581,5	463,4	154,6	60,9	1 665,5	685,1	413,4
Avoine et paille	Repos	6 669,6	653,4	249,8	78,3	2 336,0	2 089,1 (¹)	936,7
	Marche	6 815,2	626,6	230,7	61,7	2 395,9	2 136,3	1 055,4
	Travail	7 630,5	740,0	278,9	62,0	3 000,2	2 219,9	1 190,1
Moyenne		7 061,6	680,0	257,1	69,7	2 590,7	2 138,5	1 048,4
Maïs et paille d'avoine	Repos	6 139,9	512,7	231,3	129,8	2 907,2	556,4	955,1
	Marche	6 796,1	615,6	270,2	137,8	3 380,4	616,7	947,2
	Travail	6 540,2	567,0	255,0	137,4	3 219,5	659,4	943,0
Moyenne		6 382,7	548,0	245,8	133,7	3 090,2	567,6	949,7
Maïs et paille de blé	Repos	5 818,0	491,1	185,8	185,4	2 691,8	448,9	716,0
	Marche	6 013,0	511,7	197,1	193,7	2 850,9	442,1	782,8

	Travail	8 914,[illegible]	1 818,7	152,[illegible]	352,5	3 010,[illegible]	[illegible]	[illegible]
Moyenne		7 696,6	1 389,9	137,8	288,5	2 292,6	777,0	1 284,5
Tourteau	Repos	6 939,6	871,2	244,5	147,4	1 335,5	759,5	1 416,3
	Marche	8 357,4	1 048,5	360,9	186,6	1 723,5	892,4	1 613,2
	Travail	9 132,8	1 365,1	377,7	217,8	2 056,1	917,8	1 661,7
Moyenne		8 061,4	1 067,7	318,1	182,3	1 689,9	846,0	1 509,4
Pommes de terre et paille	Repos	5 181,0	392,4	47,8	92,7	2 670,8	415,6	689,2
	Marche	6 124,2	503,4	57,3	106,7	3 321,8	516,9	695,3
	Travail	6 618,8	526,0	55,3	123,8	3 675,4	469,0	746,9
Moyenne		5 896,6	463,9	52,5	106,8	3 169,0	456,4	711,1
Pommes de terre, grains et paille	Repos	5 286,5	485,9	112,8	69,9	2 610,6	523,8	712,4
	Travail	6 914,1	681,5	143,1	100,8	3 818,4	498,6	817,6
Moyenne		6 100,3	583,6	127,9	85,4	3 214,5	511,2	765,0
Maltine	Repos	6 641,8	771,7	298,6	185,2	2 784,2	654,0	763,0
	Marche	7 457,9	892,8	343,4	241,3	3 052,5	832,8	851,4
	Travail	7 927,3	736,1	382,9	249,2	3 282,6	786,7	838,1
Moyenne		7 233,5	784,0	335,7	217,1	3 004,0	734,0	805,7
Granules cuits	Repos	7 286,0	1 031,9	307,5	163,9	1 368,6	1 353,7	1 860,4
Mélange 1897	Repos	4 796,7	540,8	223,3	114,0	1 833,2	623,9	719,2
	Marche	4 797,4	575,4	232,6	114,9	1 717,1	636,4	711,2
	Travail	6 658,6	789,3	324,6	122,0	2 526,6	774,6	1 018,7
Moyenne		5 228,3	635,2	260,2	117,0	2 025,6	678,3	816,4
Sucre et foin	Travail	9 556,8	672,1	146,1	812,9	449,9	1 425,8	2 615,0
Sucre et granules	Travail	7 423,2	584,9	215,4	2 239,6	1 543,6	448,2	1 057,2
Sucre et maïs	Marche	6 914,7	316,6	129,1	2 435,1	1 650,4	444,8	973,4
	Travail	7 539,0	400,6	161,9	2 403,2	2 119,9	426,7	967,2
Moyenne		7 382,9	379,6	153,7	2 411,2	2 002,5	431,3	968,7

1. Les indéterminés sont réunis à la cellulose saccharifiable.

II. — Principes nutritifs journellement digérés.

EXPÉRIENCES	SITUATIONS	MATIÈRE sèche totale	MATIÈRES azotées	GRAISSE	SUCRE	AMIDON	CELLULOSE saccha-rifiable	CELLULOSE brute	INDÉ-TERMINÉS
		Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes	Grammes
Mélange 1881	Repos	3 318,1	427,9	97,8	59,2	2 170,1 (amidon et cellulose saccharifiable)		257,8	292,7
	Marche	3 656,6	456,0	93,1	68,8	2 341,3		269,3	400,4
	Travail	4 738,2	592,6	130,3	91,1	3 148,7		307,1	438,5
Moyenne		3 985,6	499,2	110,1	73,8	2 595,0		279,7	370,4
Foin	Repos	2 945,6	229,2	12,2	243,6	346,0	528,6	599,1	804,9
	Marche	3 375,0	282,2	8,0	306,4	437,1	579,9	620,6	902,7
	Travail	5 105,0	412,3	20,9	442,5	623,6	871,7	972,3	1 394,3
Moyenne		3 808,5	307,9	13,7	330,8	468,9	660,1	730,7	1 034,0
Avoine seule	Repos	2 457,3	353,3	107,7	56,3	1 574,9	148,0	190,1	Compris avec la cellulose saccharifiable
	Marche	2 610,5	374,5	125,9	62,0	1 648,7	166,4	201,4	
	Travail	2 649,7	361,4	122,0	60,9	1 674,2	136,6	211,7	
Moyenne		2 588,8	368,7	119,7	78,3	1 640,9	149,4	202,8	
Avoine et paille	Repos	3 966,1	442,0	163,3	64,7	2 188,4	436,6	354,6	Id.
	Marche	4 019,6	414,5	154,8	62,0	2 279,0	755,1	314,1	
	Travail	4 436,9	472,5	194,6	62,8	2 918,6	433,1	335,6	
Moyenne		4 155,4	447,8	173,4	69,7	2 473,7	574,3	339,8	
Maïs et paille d'avoine	Repos	4 319,0	311,5	136,5	129,8	2 845,2	297,5	446,8	144,7
	Marche	4 832,6	378,7	161,7	137,8	3 306,2	298,6	456,8	99,3
	Travail	4 599,5	357,1	160,6	137,4	3 150,1	254,5	437,8	151,4
Moyenne		4 498,1	337,9	148,7	133,7	3 023,7	253,7	445,5	139,8
Maïs et paille de blé	Repos	3 982,2	336,4	122,8	185,4	2 640,8	158,7	218,4	262,2
	Marche	4 188,4	362,0	138,1	193,7	2 792,0	182,6	260,2	214,0

Moyenne		4 480,1	1 026,1	»	288,6	2 122,5	377,4	455,4	383,0
Tourteau	Repos	3 590,8	577,0	81,0	147,5	1 212,6	314,9	526,7	646,1
	Marche	4 373,2	710,1	158,1	181,6	1 536,9	377,2	600,8	716,8
	Travail	4 854,4	943,8	140,3	217,8	1 904,1	331,1	487,4	712,8
Moyenne		4 424,7	745,7	118,4	182,6	1 544,0	332,6	524,7	685,2
Pommes de terre et paille	Repos	3 908,5	197,1	»	92,7	2 649,0	229,3	382,4	278,3
	Marche	4 562,5	257,9	»	106,7	3 302,2	279,9	272,8	267,0
	Travail	4 948,6	211,9	»	123,8	3 635,0	207,3	274,1	230,1
Moyenne		4 387,1	215,4	»	106,8	3 141,2	232,3	298,8	258,6
Pommes de terre, grains et paille	Repos	3 816,9	238,0	26,4	69,9	2 577,6	272,5	378,5	142,8
	Travail	5 509,2	424,8	61,0	100,8	3 785,0	288,1	509,1	204,8
Moyenne		4 632,6	331,4	68,6	85,4	3 181,3	280,3	443,8	173,7
Maltine	Repos	4 791,5	474,0	177,8	185,2	2 759,1	377,0	351,4	401,0
	Marche	5 268,6	533,2	198,1	241,3	2 998,4	506,1	358,1	394,6
	Travail	5 667,9	613,0	235,4	249,2	3 241,0	447,4	333,2	502,6
Moyenne		5 179,1	532,2	201,1	217,7	2 967,6	426,3	346,7	433,6
Granules cuits	Repos	4 038,6	621,4	136,0	163,9	1 368,6	755,3	854,4	62,2
Mélange 1897	Repos	3 492,1	402,8	129,7	114,0	1 825,8	422,2	358,9	198,2
	Marche	3 470,5	434,5	140,9	114,9	1 705,4	438,8	349,8	248,1
	Travail	4 752,4	566,6	193,7	122,0	2 507,1	477,4	470,9	368,4
Moyenne		3 905,0	468,0	154,8	117,0	2 012,8	446,1	393,2	271,6
Sucre et foin	Travail	4 856,1	314,8	27,1	812,9	348,6	709,9	1 019,9	1 411,8
Sucre et granules	Travail	5 499,2	395,7	117,8	2 239,8	1 541,7	158,7	447,4	609,6
Sucre et maïs	Marche	5 345,3	182,5	74,5	2 435,1	1 640,4	190,6	326,5	326,5
	Travail	5 901,9	262,0	92,1	2 403,2	2 115,1	179,2	380,1	380,1
Moyenne		5 765,0	242,2	87,8	2 411,2	1 996,4	182,0	366,7	366,7

tures. Le lecteur se rappelle que, dans l'expérimentation des seize rations différentes consommées par nos chevaux, ces derniers ont été parallèlement placés dans les trois situations suivantes : repos ; marche sans travail de traction ; marche avec travail exécuté tantôt au manège dynamométrique, tantôt à la voiture. Chacun des chevaux passant successivement par ces trois situations pendant le temps consacré à l'étude de chaque ration, — trois mois au minimum, — on voit quelle quantité considérable de données numériques nous avons été à même de réunir sur les rations de repos, de marche et de travail du cheval de service. Nous avons pu dresser, en quelque sorte, le bilan de la digestion chez le cheval.

Afin de permettre aux personnes qu'intéresse particulièrement la question du régime alimentaire du cheval de trait d'embrasser d'un coup d'œil les résultats consignés dans nos registres d'expériences, nous avons, M. Alekan et moi, réuni dans deux tableaux les quantités de principes nutritifs *ingérés* (tableau I) et celles des mêmes principes *digérés* par nos chevaux (tableau II) qu'on trouve aux pages 198 et 200.

La reproduction intégrale de ces deux tableaux, empruntés à notre publication *Vingt années d'expériences sur l'alimentation du cheval,* nous a semblé indispensable à l'intelligence de la discussion à laquelle nous nous livrerons plus tard sur l'utilisation des rations, tant au point de vue de l'entretien physiologique du cheval qu'à celui de la production du travail qu'on lui demande.

La comparaison des chiffres de ces deux tableaux, qui peut guider très utilement les cultivateurs dans la détermination des rations de leur cavalerie, nous permettra, comme on le verra, de fixer les idées sur les rapports que doivent présenter les rations, soit qu'il s'agisse seulement de subvenir aux besoins de l'animal pour maintenir son poids vif à peu près invariable dans les périodes de repos (ration d'entretien), soit qu'on ait en vue d'obtenir de lui un travail déterminé.

Nous indiquerons ultérieurement les quantités de travail fournies par nos chevaux, la valeur calorifique des rations consommées et la relation nutritive de chacune d'elles. Le lecteur aura ainsi sous les yeux un ensemble de documents dont la pratique peut, croyons-nous, tirer des enseignements précieux. Nos tableaux I et II appellent un

commentaire et un certain nombre de remarques. Les chiffres qu'ils résument nous permettront de passer successivement en revue les conditions si différentes d'alimentation du cheval, suivant les situations qu'il occupe, conditions dont on néglige beaucoup trop généralement de tenir compte dans l'exploitation de ce précieux auxiliaire.

XVI. — Principes nutritifs digérés par jour

Le tableau I indique pour chacune de nos seize séries d'expériences les quantités de chacun des principes des aliments ingérés par nos chevaux dans les trois situations qu'ils ont successivement occupées : repos, marche sans travail, marche au travail. Le tableau II contient, pour chacune de ces séries, les indications correspondantes sur les quantités des mêmes principes *digérés*.

Il n'est peut-être pas inutile de rappeler à ce sujet, bien que nous l'ayons indiqué antérieurement, comment les nombres inscrits sur ce tableau ont été déterminés, et l'importance qu'ils ont pour l'appréciation de la valeur alimentaire de chacune des rations expérimentées.

Dans la pratique ordinaire, on se borne à noter, le plus souvent approximativement, le poids des aliments donnés aux animaux. Or, on sait que la valeur et l'efficacité d'une ration alimentaire dépendent beaucoup moins du poids brut des éléments qui la composent que de leur composition et de leur utilisation par l'animal. C'est en vue d'établir, pour chacune des denrées entrant dans la ration de nos chevaux, l'*utilisation* respective de chacun des principes nutritifs fournis par les fourrages, que nous avons déterminé directement par l'analyse la digestibilité de chaque principe chez l'animal au repos, à la marche et au travail. Pour ce faire, la ration journalière est pesée avant sa distribution ; si l'animal ne consomme pas la totalité des aliments qu'on lui a donnés, on recueille les restes et on défalque leur poids de la ration distribuée. On connaît ainsi exactement la quantité, en poids, de la ration-mélange ou des aliments fournis isolément et des principes ingérés.

D'autre part, on réunit avec grand soin les excréments solides, on les soumet à une analyse complète, en appliquant aux dosages exécutés, dans les fèces, les méthodes employées pour analyser les ali-

ments. On obtient ainsi les résultats dont l'ensemble est inscrit dans le tableau II. On connaît alors la consommation réelle d'aliments du cheval dans les différents états de repos et de mouvement. Si, d'autre part, on a déterminé aussi exactement que possible, comme nous le faisons depuis vingt-cinq ans, le chemin parcouru par l'animal et le travail utile qu'il a produit, on est en possession de tous les renseignements nécessaires pour fixer rationnellement le régime du cheval suivant ce qu'on exige de lui.

XVII. — La ration d'entretien du cheval au repos

Les tableaux I et II fournissent des indications précises sur les quantités de principes nutritifs consommés par nos chevaux (tableau I) et digérés par eux (tableau II), par jour moyen de repos, de marche et de travail, pendant la durée d'expérimentation de seize régimes différents.

Cet ensemble de documents représente en quelque sorte le bilan de la digestion chez le cheval dans les trois conditions que nous avons étudiées et qu'il nous faut examiner de plus près.

Le graphique ci-contre (fig. 1) a trait aux *rations d'entretien au repos*. Sous forme de courbes, il représente les variations de poids vifs, les valeurs calorifiques et les relations nutritives des rations *digérées*. Avant de passer en revue les résultats ainsi obtenus, il est utile d'indiquer comment ont été calculées les relations nutritives et les valeurs calorifiques de la partie *digérée* des rations, entrant seule ici en ligne de compte.

Relation nutritive. — Pour l'établir, on a classé en deux groupes les principes nutritifs digérés, savoir : 1° matières azotées ; 2° matières non azotées : ces dernières comprenant l'amidon, les sucres, les celluloses, les indéterminés, et la graisse transformée à l'aide du coefficient 2,4 [1]. Le rapport entre les poids des matières azotées ainsi trouvés et ceux des matières non azotées indique la *relation nutritive* inscrite dans la deuxième colonne de gauche du graphique.

---

1. Rappelons que 1 gramme de matière grasse correspond à $2^{gr},4$ d'amidon.

Valeur calorifique. — Elle s'obtient en multipliant respectivement le poids en grammes des deux groupes par 4,6 (matières azotées)

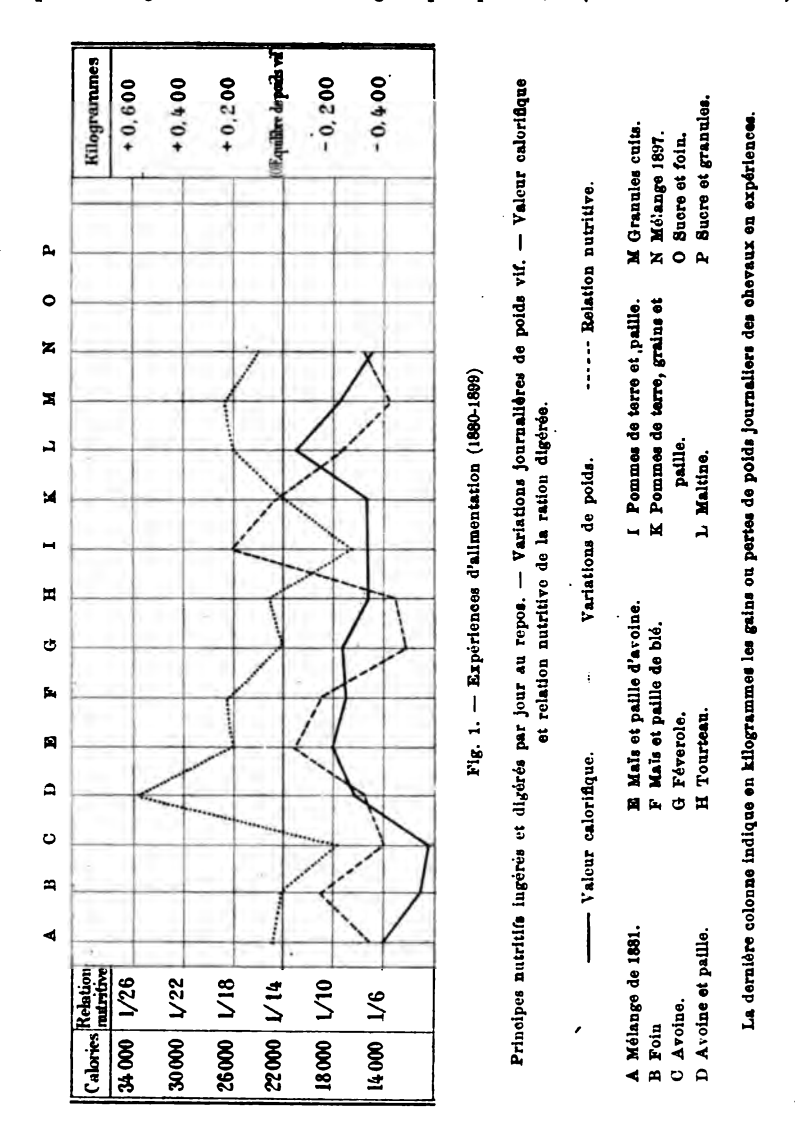


Fig. 1. — Expériences d'alimentation (1880-1899).

Principes nutritifs ingérés et digérés par jour au repos. — Variations journalières de poids vif. — Valeur calorifique et relation nutritive de la ration digérée.

—— Valeur calorifique. ······ Variations de poids. ------ Relation nutritive.

A Mélange de 1881. E Maïs et paille d'avoine. I Pommes de terre et paille. M Granules cuits.
B Foin F Maïs et paille de blé. K Pommes de terre, grains et paille. N Mélange 1897.
C Avoine. G Féverole. O Sucre et foin.
D Avoine et paille. H Tourteau. L Maltine. P Sucre et granules.

La dernière colonne indique en kilogrammes les gains ou pertes de poids journaliers des chevaux en expériences.

et 4,1 (matières non azotées) représentant la chaleur de combustion des principes correspondants. En additionnant les deux produits ainsi trouvés, on obtient la *valeur calorifique* de la ration digérée, telle

qu'elle figure dans le présent graphique et dans ceux que nous reproduisons plus loin. Aucun cheval au repos n'ayant été soumis au régime du sucre, les courbes s'arrêtent dans ce graphique à la treizième colonne.

De l'examen du graphique ressort ce fait dominant que, sur treize rations expérimentées, deux seulement se sont montrées insuffisantes pour l'entretien au repos : la ration d'*avoine*, donnée *seule* (C), et celle des *pommes de terre avec paille* (I). Les onze autres ont, non seulement suffi, mais elles ont même été quelquefois trop fortes ; ainsi se vérifie de nouveau la possibilité d'assurer l'entretien du cheval au repos avec les régimes les plus variés. Cette diversité est bien mise en évidence par la courbe des relations nutritives, qu'on voit passer, de 1/4,4 avec la féverole (G), à 1/18 avec les pommes de terre (I) ; les quantités relatives de principes azotés et hydrocarbonés digérés ont donc varié dans des limites très larges. Il en est de même, d'ailleurs, de leurs quantités absolues, comme le montrent les chiffres suivants :

	MAXIMUM		MINIMUM	
		Grammes		Grammes
Matières azotées	Pommes de terre.	197	Féverole.	766
Graisse	Foin	12	Maltine.	178
Amidon	Foin.	346	Maïs	2 800
Sucre	Avoine	56	Féverole.	250
Cellulose saccharifiable.	Avoine	148	Granules.	155
Cellulose brute	Avoine	190	Granules.	854

Les minimums constatés pour la ration d'avoine seule, joints à la très faible quantité de matière sèche totale digérée (2^{kg},457) [voir tableau II], montrent que cette ration a été nettement insuffisante, les animaux ayant refusé d'en consommer davantage.

Le cas n'est pas le même avec la ration de pommes de terre et paille : là, il n'y a pas eu insuffisance générale, puisque les chevaux ont eu à leur disposition 5^{kg},2 de matière sèche, sur lesquels 3^{kg},9 ont été digérés, et que, dans d'autres essais (mélanges de 1881 et 1897), ils n'ont reçu que 4^{kg},8 de matière sèche, en ont digéré seulement 3^{kg},4 et se sont entretenus en bon état. La caractéristique de l'essai à la pomme de terre, c'est plutôt l'insuffisance de matières azotées

digérées, qui devaient être au-dessous, peut-être avec très peu d'écart, mais certainement au-dessous du minimum nécessaire à l'entretien. Dès que la ration, par la substitution de maïs et de féverole à une fraction de pommes de terre, a fourni aux mêmes animaux un supplément journalier de 40 grammes de matières azotées digestibles, les taux des matières hydrocarbonées restant sensiblement les mêmes, ils ont pu se maintenir en équilibre de poids vif; la relation nutritive n'a pourtant varié que de 1/18 à 1/14,7, c'est-à-dire dans des limites assez étroites. Nous verrons cependant ailleurs que, dans certains cas, on a entretenu des chevaux avec des rations encore moins azotées que la ration de pommes de terre dont il s'agit, mais alors ces animaux recevaient un grand excès de matières hydrocarbonées et surtout des hydrocarbonés totalement digestibles (sucre): d'une façon générale, on peut admettre que *200 grammes par jour de matières azotées digestibles* dans une ration d'entretien constituent un *minimum* au-dessus duquel il est préférable de se maintenir. Est-il nécessaire, par contre, de dépasser beaucoup ce minimum quand il s'agit de chevaux adultes? Nous voyons sur le graphique qu'avec des rations très azotées, comme celles avec féverole ou tourteau (relations nutritives: 1/4,4 et 1/5,3), on n'a pas obtenu de meilleurs résultats qu'avec des rations moins riches et de relation nutritive plus large (avoine et paille : 1/8,3 ; maltine : 1/9,5 ; maïs : 1/11 et 1/13,3). Il semble donc inutile de donner des rations contenant par jour 500 à 700 grammes de matières azotées digestibles comme on l'a fréquemment admis, et l'on peut dire que : *la quantité moyenne de matières azotées digestibles largement suffisante pour l'entretien au repos d'un cheval de 450 kilogr. est de 350 grammes, d'après nos expériences*, soit, pour *1 000 kilogr.* de poids vif, *780 grammes* par jour.

Si, maintenant, on groupe les matières non azotées comme il a été expliqué précédemment, on constate que l'entretien au repos a été entièrement assuré chaque fois que les rations contenaient, avec le taux précédent de matières azotées, *3^{kg},5 à 4 kilogr. de matières hydrocarbonées digestibles*. Il en résulte, pour la relation nutritive, une valeur oscillant de 1/10 à 1/14,4 pour l'entretien au repos. Quant à la valeur calorifique, elle a varié de *11 000 à 21 000 calories*

pour la ration digérée journellement, mais l'ensemble de nos expériences montre que, chaque fois qu'une ration a fourni, après digestion, 15 000 à 16 000 calories, l'entretien au repos de nos animaux a été largement assuré.

De ce qui précède découlent quelques conséquences importantes, dont les cultivateurs et les propriétaires de chevaux peuvent, ce nous semble, tirer grand profit. Nos vingt années d'expériences conduisent à la confirmation, sans conteste possible, de la valeur du principe des substitutions d'aliments dans la ration des animaux ; elles mettent de plus en évidence un fait d'un intérêt économique considérable, à savoir que dans la ration d'entretien du cheval, on peut réduire dans une très large limite la quantité d'aliments azotés, les plus chers de tous, en élevant proportionnellement le poids des principes nutritifs non azotés, d'un prix vénal beaucoup moins élevé.

Nous allons voir que ces conclusions conservent toute leur valeur dans l'alimentation du cheval à la marche ou au travail.

XVIII. — La ration de transport du cheval à la marche

Si le lecteur veut bien se reporter aux tableaux I et II (pages 198 et 200), il y trouvera pour chacune des seize séries d'expériences les quantités de principes nutritifs ingérés et digérés par nos chevaux à la marche, c'est-à-dire parcourant en deux fois, le matin et le soir, le même chemin que les chevaux au travail. Attachés à la longe derrière les chevaux attelés au manège dynamométrique, les chevaux à la ration de marche n'avaient à transporter que leur propre poids, sans effectuer aucun effort de traction, sur une longueur de 20 kilomètres.

Le graphique ci-contre (fig. 2) résume, comme dans le cas du repos, les variations de poids vifs journaliers, les relations nutritives et les valeurs calorifiques ; les pesées avant et après la marche faisaient connaître les variations de poids ; nous avons expliqué dans le chapitre précédent comment on détermine la relation nutritive et la valeur calorifique des rations ; nous n'y reviendrons pas.

Avant d'examiner les résultats groupés ci-dessus, nous ferons observer que quatre expériences, pommes de terre et grains (K), granules (M), sucre et foin (O), sucres et granules (P), n'y figurent

pas, aucun cheval n'ayant été mis à la marche pendant ces expériences; on a donc dû interrompre les courbes sur les ordonnées correspondantes et figurer en pointillé les parties interrompues.

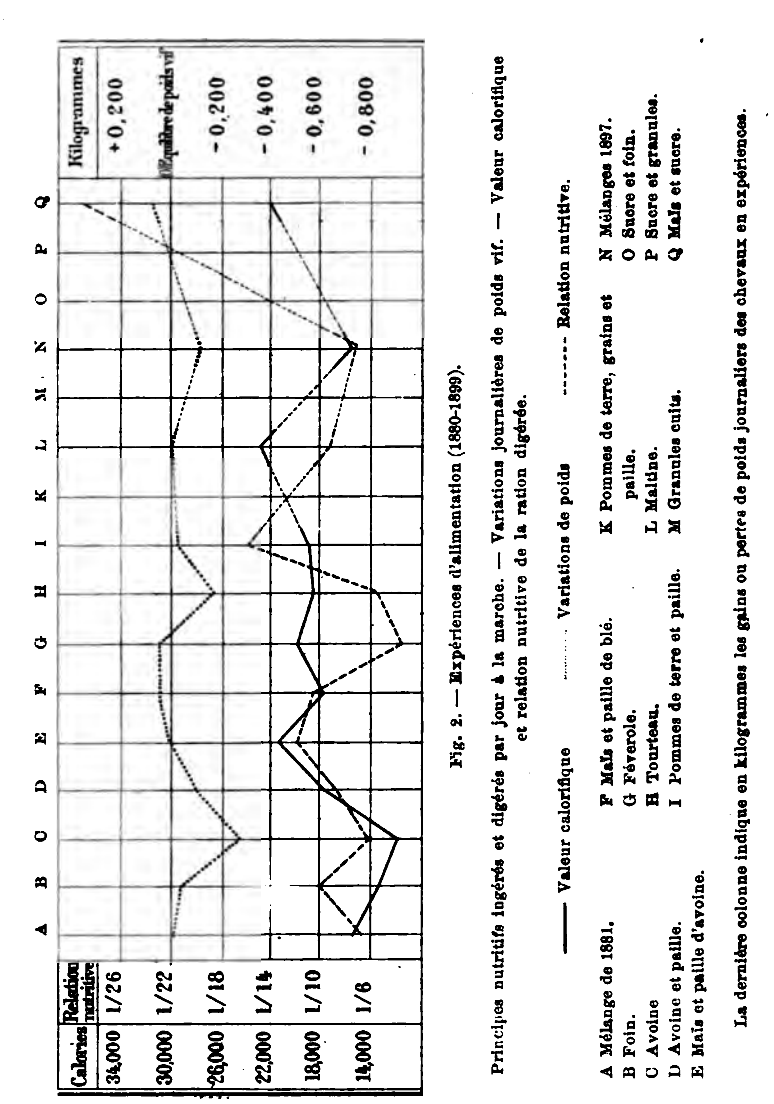


Fig. 2. — Expériences d'alimentation (1880-1899).

Principes nutritifs ingérés et digérés par jour à la marche. — Variations journalières de poids vif. — Valeur calorifique et relation nutritive de la ration digérée.

—— Valeur calorifique .... Variations de poids - - - - - - Relation nutritive.

A Mélange de 1881.
B Foin.
C Avoine
D Avoine et paille.
E Maïs et paille d'avoine.
F Maïs et paille de blé.
G Féverole.
H Tourteau.
I Pommes de terre et paille.
K Pommes de terre, grains et paille.
L Maltine.
M Granules cuits.
N Mélanges 1897.
O Sucre et foin.
P Sucre et granules.
Q Maïs et sucre.

La dernière colonne indique en kilogrammes les gains ou pertes de poids journaliers des chevaux en expériences.

Sur les douze rations de transport expérimentées, trois se sont montrées plus que suffisantes, *maïs et paille de blé* (F), *féverole* (G),

sucre et maïs (Q); deux ont simplement assuré l'équilibre de poids vif, *maïs et paille d'avoine* (E), *maltine* (L), et les sept autres ont été insuffisantes, mais à des degrés divers. Nous constatons à nouveau la grande variété des régimes à l'aide desquels on a pu parer aux besoins de *chevaux de 450 kilogr. transportant chaque jour leur propre poids sur une longueur de 20 kilomètres :* les valeurs extrêmes de la courbe des relations nutritives (1/26, 1,56 et 1/13,48) en sont la meilleure preuve, et nous confirment dans cette opinion que nous avons émise déjà plusieurs fois, qu'il convient de ne pas exagérer l'importance de la relation nutritive pour les animaux de travail adultes. Nous constatons, en effet, si nous envisageons les régimes ayant assuré, les uns largement, les autres strictement, l'entretien de nos sujets d'expériences, que les deux régimes correspondant aux relations nutritives extrêmes (*sucre et maïs; féverole*) se sont montrés également favorable; l'un deux (*sucre-maïs*) n'apportait pourtant chaque jour que *182 grammes de matières azotées digestibles*, c'est-à-dire moins que le régime à la pomme de terre, reconnu insuffisant, n'en avait fourni pour l'entretien au repos; mais, à côté de cette très faible quantité de matières azotées, il contenait plus de *5 kilogr. de matières non azotées digestibles*, ces matières étant groupées comme il a été dit précédemment. L'apport d'une aussi forte quantité d'hydrocarbonés digestibles a donc amplement racheté l'insuffisance de la ration en principes azotés. D'autre part, avec la ration de féverole, dont la relation nutritive a été la plus étroite de toutes, nos chevaux ont augmenté de poids, comme avec le sucre et le maïs, en recevant journellement *six fois plus de matières azotées digestibles* (*1 063 grammes*), et seulement *3kg,7 de matières non azotées digestibles*. Quand au troisième régime qui a produit une augmentation de poids, on peut le considérer comme un moyen terme entre les deux précédents, puisqu'il a fourni chaque jour plus *de 360 grammes* de matières azotées, soit le double de la ration sucre et maïs, et près de *4 kilogr.* de matières hydrocarbonées, sa relation nutritive étant de 1/11 environ.

Les deux rations qui ont simplement assuré l'équilibre de poids vif présentent également des différences, mais beaucoup plus atténuées; elles nous montrent, en tous cas, qu'on n'a pas obtenu de

meilleur résultat avec la *ration de maltine* contenant plus de *500 grammes* de matières azotées digestibles et près de *5 kilogr.* de matières hydrocarbonées, qu'avec le *maïs* et la *paille d'avoine* qui ne renfermaient pas même *400 grammes* des premières et 4kg,7 des secondes.

Parmi les rations insuffisantes pour le transport, nous en trouvons de très riches en matières azotées, comme le tourteau, avec 1/5,2 pour relation nutritive, et de très pauvres, comme la pomme de terre, dont la relation nutritive est de 1/16,4; la quantité de matière sèche totale digestible fournie dans ces deux cas particuliers n'a pourtant pas été sensiblement inférieure à celle qu'avaient apportée les régimes reconnus favorables. Ces deux cas mis à part, on constate aisément sur le tableau I (voir p. 198), que les rations insuffisantes contenaient *une trop faible somme d'éléments digestibles.*

Comme nous l'avons fait pour le repos, nous réunissons ici les quantités minima et maxima des principes journellement digérés à la marche :

	MAXIMA		MINIMA	
		grammes		grammes
Matière sèche totale . .	Avoine . . .	2 610	Sucre et maïs. .	5 345
Matières azotées. . . .	Sucre et maïs.	182	Féverole	1 063
Graisse	Foin	8	Maltine	198
Sucre	Avoine . . .	62	Sucre et maïs, .	2 435
Amidon	Foin	437	Maïs et paille d'avoine.	3 306
Cellulose brute. . . .	Avoine seule.	166	Avoine et paille.	755
Cellulose saccharifiable.	Avoine seule.	201	Foin	621

En ce qui concerne les résultats moyens, et bien qu'il soit difficile, d'après ce qui précède, de conclure d'une façon définitive, on peut dire en considérant l'ensemble de nos essais que la *ration de transport,* pour remplir les conditions qui ont été rappelées plus haut, doit renfermer en général *450 grammes de matières azotées digestibles* et *4kg,5 de matières hydrocarbonées digestibles,* groupées comme il a été précédemment expliqué. Cette conclusion, rapprochée de ce qui a été dit pour le cheval au repos, montre que dans les conditions de nos expériences, il faut augmenter *d'au moins 2/10 la teneur de la ration d'entretien en principes digestibles pour obtenir celle de la ration de transport.* Les essais de 1881-1882 avaient conduit à ad-

mettre comme suffisante une augmentation de 1/10, mais toutes les expériences faites depuis cette époque démontrent que cette dernière augmentation était trop faible. Quant aux valeurs calorifiques des rations digérées, elles ont, bien entendu, éprouvé d'assez grandes variations, puis qu'on les voit passer d'un minimum de *11 500 calories* avec l'*avoine* donnée seule à un maximun de *23 000 calories* avec la *maltine ;* on peut admettre, dans le cas qui nous occupe, une valeur d'au moins *18 000 calories,* pour que l'animal à la ration du transport se trouve dans de bonnes conditions.

XIX. — Les rations du cheval au travail
Variations des poids vifs

Nous venons de passer en revue l'utilisation des rations d'entretien et de marche de nos chevaux d'expérience. Examinons maintenant la ration de travail.

Le tableau III réunit les quantités de principes digérés dans les trois situations occupées par les chevaux ; mais il est plus explicite que les travaux précédents en ce qui concerne le travail. Il indique, en même temps que la répartition en deux groupes des principes digérés, leur valeur calorifique et la relation nutritive, les divers modes de travail (manège et voiture), et les différentes allures (pas et trot).

Le graphique (fig. 3) [voir p. 216] ne comporte que deux observations préliminaires :

1° Il renferme les résultats de quinze expériences seulement : l'essai d'alimentation aux granules cuits n'y figure pas, parce qu'il n'a pas comporté de chevaux au travail.

2° Comme dans les tableaux précédents, on a compté la cellulose saccharifiable tantôt avec l'amidon, tantôt avec des indéterminés, par suite des changements apportés aux méthodes d'analyses.

La première constatation à faire sur l'ensemble des résultats représentés dans le graphique est l'*augmentation* du poids vif dans deux expériences seulement : *sucre et foin* (O), *sucre et granule* (P). Avec tous les autres régimes, il y a eu *perte* de poids au travail, de sorte que toutes nos rations de travail semblent avoir été insuffisantes à couvrir les dépenses de l'organisme de nos sujets d'expériences. Ces

III. — Rations digérées : Groupement des principes nutritifs, valeurs calorifiques et relations nutritives.

EXPÉRIENCES	SITUATIONS	GROUPEMENT des principes digérés — Matières azotées	GROUPEMENT des principes digérés — Matières non azotées	VALEUR en calories	RELATION nutritive
		Grammes	Grammes	Calories	
Mélange 1881	Repos	427,9	3 014,5	14 327,8	1/7,01
	Marche	456,0	3 303,2	15 640,7	1/7,24
	Travail au pas	622,9	4 442,3	21 078,5	1/7,13
	— au trot	577,6	4 225,2	19 980,0	1/7,31
	— (moyenne)	592,6	4 298,1	20 348,2	1/7,25
Moyenne		499,2	3 583,1	16 987,0	1/7,18
Foin	Repos	229,2	2 551,5	11 513,8	1/11,32
	Marche	282,2	2 866,0	13 049,1	1/10,46
	Travail au pas	381,4	3 908,9	17 780,8	1/10,25
	— au trot	444,5	4 889,4	22 091,2	1/11,00
	— à la voiture	411,5	4 491,4	20 307,6	1/10,91
	— (moyenne)	412,3	4 354,6	19 750,5	1/10,56
Moyenne		307,9	3 257,4	14 771,6	1/10,58
Avoine seule	Repos	353,3	2 227,8	10 759,2	1/6,31
	Marche	374,5	2 380,7	11 565,6	1/6,36
	Travail au pas	361,4	2 378,1	11 412,4	1/6,58
Moyenne		363,7	2 341,3	11 272,3	1/6,44
Avoine et paille	Repos	442,0	3 649,8	16 997,4	1/8,26
	Marche	414,5	3 784,4	16 422,7	1/9,13
	Travail au pas	435,2	3 690,2	17 131,5	1/8,48
	— au trot	481,1	4 219,5	19 512,7	1/8,77
	— à la voiture	474,9	4 372,9	20 113,0	1/7,21
	— (moyenne)	472,5	4 216,3	19 460,3	1/8,92
Moyenne		447,8	3 873,7	17 492,0	1/8,65
Maïs et paille d'avoine	Repos	311,5	4 131,6	18 372,5	1/13,26
	Marche	378,7	4 686,8	20 957,9	1/12,38
	Travail au pas	413,9	4 979,3	22 319,0	1/12,03
	— au trot	355,1	5 038,3	22 290,3	1/14,18
	— à la voiture	302,4	4 022,8	17 884,5	1/13,30
	— (moyenne)	357,1	4 733,1	21 048,3	1/13,25
Moyenne		337,9	4 424,7	19 695,6	1/13,09

EXPÉRIENCES	SITUATIONS	GROUPEMENT des principes digérés		VALEUR en calories	RELATION nutritive
		Matières azotées	Matières non azotées		
		Grammes	Grammes	Calories	
Maïs et paille de blé.	Repos	336,4	3 739,7	16 880,2	1/11,12
	Marche	362,0	3 962,5	17 911,5	1/10,94
	Travail au pas	372,5	3 869,6	17 578,9	1/10,39
	— au trot	423,9	4 500,0	20 399,9	1/10,62
	— à la voiture	330,0	3 862,5	17 354,3	1/11,70
	— (moyenne)	375,5	4 071,7	18 421,3	1/10,84
	Moyenne	357,4	3 919,9	17 715,6	1/10,97
Féverole	Repos	766,5	3 386,5	17 410,6	1/4,42
	Marche	1 062,6	3 692,6	20 027,7	1/3,48
	Travail au pas	1 335,4	4 101,7	22 959,8	1/5,07
	— au trot	1 352,8	4 531,3	24 805,8	1/2,35
	— à la voiture	1 449,9	4 638,4	25 686,9	1/3,20
	— (moyenne)	1 397,2	4 470,5	24 756,2	1/3,20
	Moyenne	1 026,1	3 626,9	19 590,4	1/3,53
Tourteau	Repos	577,0	3 042,2	15 127,2	1/3,27
	Marche	710,1	3 697,7	18 427,1	1/5,21
	Travail au pas	753,0	3 873,0	19 347,2	1/5,14
	— au trot	910,9	3 877,8	20 089,1	1/4,26
	— à la voiture	1 037,6	4 073,6	21 474,8	1/3,93
	— (moyenne)	943,8	3 989,9	20 700,1	1/4,23
	Moyenne	745,7	3 553,2	17 998,3	1/4,76
Pomme de terre et paille	Repos	197,1	3 581,8	15 592,1	1/18,17
	Marche	257,9	4 228,6	18 523,6	1/16,40
	Travail au pas	304,1	4 952,4	21 703,6	1/10,29
	— au trot	244,0	4 460,8	19 411,7	1/18,28
	— à la voiture	118,5	4 116,0	17 420,7	1/34,73
	— (moyenne)	211,9	4 470,3	19 302,9	1/21 10
	Moyenne	215,4	4 037,7	17 545,4	1/18 75
Pomme de terre, grains et paille.	Repos	238,0	3 502,3	15 454,2	1/14,71
	Travail à la voiture	424,8	5 034,1	22 593,9	1/11,85
	Moyenne	331,4	4 329,2	19 274,1	1/13,06
Maltine	Repos	474,0	4 500,4	20 632,0	1/9,49
	Marche	533,2	4 973,9	22 845,7	1/9,33
	Travail au pas	577,2	5 216,5	24 042,7	1/9,04
	— au trot	590,2	5 317,2	24 515,4	1/9,01
	— à la voiture	657,1	5 445,4	25 348,8	1/8,28
	— (moyenne)	613,0	5 338,4	24 707,2	1/8,71
	Moyenne	532,2	4 874,5	22 433,6	1/9,16

EXPÉRIENCES	SITUATIONS	GROUPEMENT des principes digérés		VALEUR en calories	RELATION nutritive
		Matières azotées	Matières non azotées		
		Grammes	Grammes	Calories	
Granules cuits . .	Repos.	621,4	3 530,8	17 334,7	1/5,68
Mélange 1897 . .	Repos.	402,8	3 230,5	15 097,9	1/8,02
	Marche	434,5	3 195,2	15 099,0	1/7,35
	Travail au pas . . .	625,7	4 264,3	20 361,8	1/6,82
	— au trot . . .	504,9	4 335,9	20 099,7	1/8,59
	— à la voiture .	570,3	4 543,5	21 251,8	1/7,97
	— (moyenne). .	566,6	4 410,7	20 690,3	1/7,78
Moyenne.		468,0	3 612,2	16 962,8	1/7,72
Sucre et foin. . .	Travail à la voiture .	314,8	4 363,1	19 336,8	1/13,86
Sucre et granules.	Travail à la voiture .	395,7	5 279,9	23 467,8	1/13,34
Sucre et maïs . .	Marche	182,5	5 210,5	22 202,6	1/28,55
	Travail au trot . . .	281,4	6 044,3	26 076,0	1/21,48
	— à la voiture .	242,6	5 412,3	23 306,4	1/22,31
	— (moyenne). .	262,0	5 728,2	24 690,8	1/21,86
Moyenne.		242,2	5 599,0	24 070,0	1/23,12

pertes de poids ont varié de *800 grammes* par jour comme maximum, avec l'*avoine seule* (C), à un peu plus de *100 grammes* comme minimum, avec les *pommes de terre* additionnées de *grains* (K); dans la plupart des cas, elles se sont maintenues entre 200 et 400 grammes par jour. Il sera plus facile de comparer les différents régimes quand nous aurons exposé toutes les données concernant le travail; pour le moment, nous ferons simplement remarquer que le travail journalier a varié dans d'assez larges limites (230 000 à 650 000 kilogrammètres) et que ces variations sont loin d'avoir été en rapports directs avec celles des poids vifs. Dans les deux expériences (sucre et foin, sucre et granules) où le poids vif a augmenté, on a demandé aux animaux un travail *intense*, mais de durée beaucoup plus courte que dans tous les autres essais; même avec le régime sucre et maïs, les conditions moyennes dans lesquelles s'est effectué le travail n'ont pas encore été les mêmes : les comparaisons portant sur l'ensemble des expériences sont plutôt malaisées à établir.

En nous limitant aux essais dans lesquels les conditions du travail

ont été semblables, il nous reste encore huit régimes différents, comprenant la suite des expériences effectuées depuis l'avoine jusqu'au

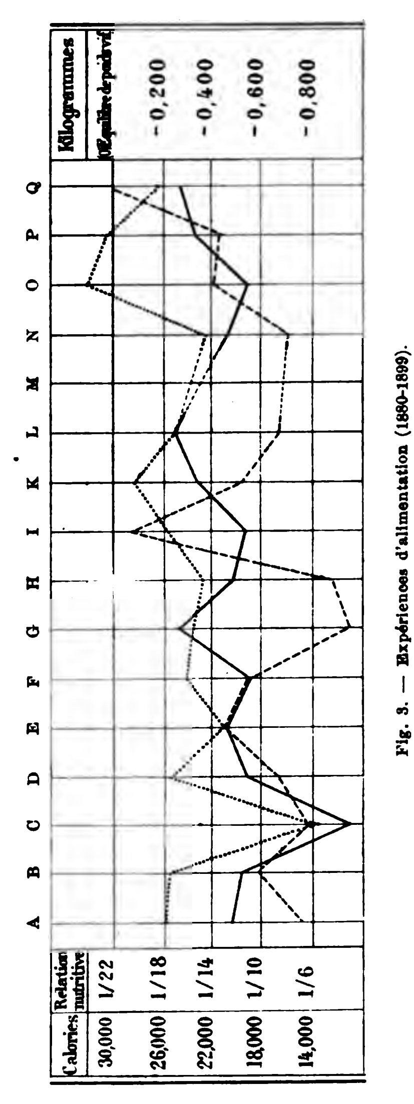


Fig. 3. — Expériences d'alimentation (1880-1899).

Principes nutritifs ingérés et digérés par jour au travail. — Variations journalières de poids vif. — Valeur calorifique et relation nutritive de la ration digérée.

—— Valeur calorifique . . . . . Variations de poids ------- Relation nutritive.

A Mélange de 1881.
B Foin.
C Avoine.
D Avoine et paille.
E Maïs et paille d'avoine.
F Maïs et paille de blé.
G Féverole.
H Tourteau.
I Pommes de terre et paille.
K Pommes de terre, grains et paille.
L Maltine.
M Granulés cuits.
N Mélange 1897.
O Sucre et foin.
P Sucre et granulés.
Q Maïs et sucre.

La dernière colonne indique en kilogrammes les gains ou pertes de poids journaliers des chevaux en expériences.

sucre (*maïs, féverole, tourteau, pommes de terre, maltine et mélange* 1897). Dans cette série, le travail journalier minimum a été effectué avec le régime des pommes de terre seules et le travail maxi-

mum avec le mélange ; on voit sur le graphique que dans chacun de ces cas, il n'y a pas eu de relations directes entre le travail et les variations de poids. D'autre part, la perte maximum de poids s'est produite avec le maïs et la paille d'avoine (E), la perte minimum avec les pommes de terre et grains (K) ; or, dans le premier cas, le travail a été inférieur de près de *70 000 kilogrammètres* à celui du second cas. Si, toujours dans la même série, nous comparons des rations *très azotées* comme celles de la *féverole* et du *tourteau* (relations nutritives : 1/3,2 et 1/4,2) avec des régimes trois à quatre fois plus riches en hydrocarbonés (*pommes de terre et grains*, ayant une relation nutritive de 1/11,8), nous voyons que pour un travail sensiblement égal, *les rations azotées ont entretenu les animaux en moins bon état que les rations hydrocarbonées*. Avec la féverole, nos sujets d'expérience recevaient près de *1400 grammes* par jour de matières azotées digestibles pour *4^{kg},5* de matières non azotées, tandis que le régime de pommes de terre et grains ne leur apportait que *425 grammes* des premières et un peu plus de *5 kilogr.* des secondes, dont *3^{kg},8* d'amidon : *la supériorité des matières hydrocarbonées pour la production du travail* ressort donc nettement de cette comparaison. Le régime de la maltine, avec lequel le travail produit a été tout à fait analogue à celui de la féverole, a donné lieu à une moindre perte de poids ; ce régime ne fournissait cependant, chaque jour, que *600 grammes* de matières azotées, mais, par contre, *5^{kg},3* de matières hydrocarbonées digestibles (relation nutritive 1/8,7). Le maïs avec paille de blé et le mélange de 1897 (relations nutritives : 1/10,8 et 1/7,8) peuvent encore fournir de nouveaux exemples à l'appui de ce que nous avançons.

Nous donnons ci-après, comme nous l'avons fait pour le repos et la marche, les minima et maxima journaliers des principes nutritifs digérés :

	MAXIMAS	grammes	MINIMAS	grammes
Matière sèche totale .	Avoine seule. .	2 650	Féverole	5 997
Matières azotées. . .	Pommes de terre.	212	Féverole.	1 397
Graisse	Foin	21	Maltine	235
Sucre	Avoine et paille.	62	Sucre et maïs . .	2 403
Amidon	Sucre et foin .	344	Pommes de terre et grains.	3 785
Cellulose saccharifiable .	Avoine seule. .	136	Foin	872
Cellulose brute. . .	Avoine seule. .	212	Sucre et foin. . .	1 020

Quant aux données moyennes, bien que toutes nos rations se soient montrées un peu faibles, on peut, en tablant sur celles dont le résultat a été le plus satisfaisant, admettre que, dans les conditions de nos expériences, il faut donner chaque jour un minimum de ***600 grammes de matières azotées digestibles avec 6 kilogr. environ de matières hydrocarbonées digestibles*** pour un travail de 50 000 kilogrammètres en moyenne. Ce résultat, comparé à celui que nous avons admis pour l'entretien au repos, nous montre que le facteur 3/2 adopté, dans les premières expériences, comme représentant le rapport de la ration de travail à celle de repos, doit être regardé comme un minimum ; si l'on désigne par *1* la ration d'entretien au repos, celle de travail devra plutôt être représentée par *1,7* que par *1,5*.

Une dernière remarque concerne la variation des valeurs calorifiques des rations digérées : ces valeurs passent, en effet, de 11 400, pour l'avoine seule, à près de 25 000 pour la féverole, la maltine, le sucre et le maïs ; notoirement insuffisante dans le premier cas, elle n'a pas même atteint la valeur nécessaire dans le dernier cas, malgré sa variation de 1 à 2,5 ; il était d'ailleurs difficile de s'attendre à un autre résultat d'après ce que nous avons constaté au sujet des principes digérés.

XX. — Résumé des expériences sur l'alimentation du cheval. Principes nutritifs ingérés et digérés par jour moyen. Variations moyennes des poids vifs.

Après avoir envisagé isolément les conditions d'alimentation de nos chevaux d'expérience, dans les trois états de repos, de marche et de travail, je crois utile de résumer, comme nous l'avons fait M. Alekan et moi dans notre album *Vingt années d'expériences,* l'ensemble de toutes les données concernant le rationnement et les variations de poids de nos animaux. Le graphique (fig. 4) et les tableaux qui le suivent présentent les *résultats moyens ;* leur examen donne une idée complète de la valeur des divers régimes alimentaires que nous avons expérimentés.

Ce graphique et les tableaux qui l'accompagnent comprennent les seize séries d'essais. Le tableau V indique les variations journalières

de poids vifs pour chaque situation, et les poids moyens des chevaux dans les principales de ces situations. Le tableau IV fournit les don-

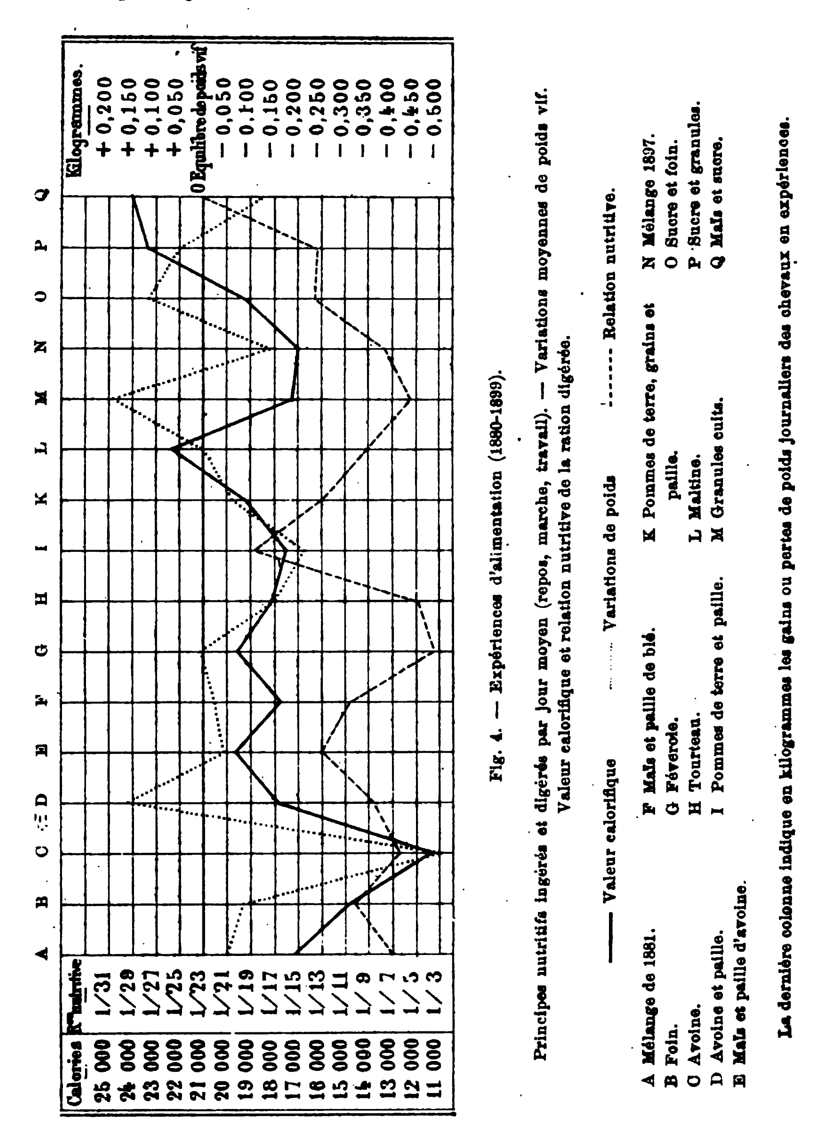


Fig. 4. — Expériences d'alimentation (1880-1899).

Principes nutritifs ingérés et digérés par jour moyen (repos, marche, travail). — Variations moyennes de poids vif. Valeur calorifique et relation nutritive de la ration digérée.

—— Valeur calorifique .... Variations de poids - - - - - - Relation nutritive.

A Mélange de 1881.
B Foin.
C Avoine.
D Avoine et paille.
E Maïs et paille d'avoine.
F Maïs et paille de blé.
G Féverole.
H Tourteau.
I Pommes de terre et paille.
K Pommes de terre, grains et paille.
L Maltine.
M Granulés cuits.
N Mélange 1897.
O Sucre et foin.
P Sucre et granulés.
Q Maïs et sucre.

La dernière colonne indique en kilogrammes les gains ou pertes de poids journaliers des chevaux en expériences.

nées moyennes sur les principes digérés, les valeurs calorifiques et les relations nutritives reproduites par le graphique ci-dessus ;

Si l'on envisage la série des expériences, non plus au point de vue

de telle ou telle situation, mais dans l'ensemble de leurs diverses phases, et en se souvenant que chaque régime a souvent comporté une durée d'un an, on voit de suite que les rations adoptées ont lar-

TABLEAU IV

EXPÉRIENCES	PRINCIPES digérés par jour		VALEUR calorifique	RELATION nutritive	VARIATION moyenne journalière de poids vif
	Matières azotées	Matières non azotées			
	Grammes	Grammes	Calories		Grammes
I. — Rations suffisantes.					
Granules	621,4	3 530,8	17 334,7	1/5,68	+ 227
Avoine et paille.	447,8	3 873,7	77 942,0	1/8,65	+ 162
Sucre et foin.	314,8	4 363,1	19 336,8	1/13,86	+ 120
Sucre et granules. . . .	395,7	5 279,9	23 467,8	1/13,34	+ 51
Féverole.	1 026,1	3 626,9	19 590,4	1/3,53	Équilibre.
Maltine (1).	532,2	4 874,5	22 433,6	1/9,16	Équilibre.
II. — Rations presque suffisantes.					
Maïs et paille de blé. . .	357,4	3 919,9	17 715,6	1/10,97	— 25
Maïs et paille d'avoine. .	337,9	4 424,7	19 695,6	1/13,09	— 47
Mélange 1881	499,2	3 583,1	16 987,0	1/7,18	— 54
Pommes de terre et grains.	331,4	4 329,2	19 274,1	1/13,06	— 62
Foin.	307,9	8 257,4	14 771,6	1/10,58	— 88
III. — Rations insuffisantes.					
Sucre et maïs	212,2	5 599,0	24 070,0	1/23,12	— 136
Mélange 1897	468,0	3 612,2	16 962,8	1/7,72	— 150
Tourteau	745,7	3 553,2	17 998,3	1/4,76	— 148
Pommes de terre. . . .	215,4	4 037,7	17 545,4	1/18,75	— 215
Avoine seule.	363,7	2 341,3	11 272,3	1/6,44	— 502

1. Moyenne (sans février) : 461,55.

gement couvert les besoins de nos animaux dans les six cas suivants : *avoine et paille, féverole, maltine, granules, sucre et foin, sucre et granules* ; dans quelques autres, les pertes de poids moyennes ont été légères (*mélange de 1881, foin, maïs, pommes de terre et grains*) ; enfin, la ration a été insuffisante dans cinq expériences (*avoine seule,*

V. — Variations moyennes journalières de poids vif et poids moyens des chevaux.

EXPÉRIENCES	SITUATION	VARIATIONS journalières de poids	POIDS moyens.
		Grammes	Kilogr.
Mélange 1881	Repos	+ 77	422,9
	Marche	— 20	415,9
	Travail au pas	+ 200	»
	— au trot	— 117	»
	— à la voiture	— 320	»
	— (moyenne)	— 189	419,5
	Moyenne	— 54	419,4
Foin	Repos	+ 8	393,9
	Marche	— 34	407,5
	Travail au pas	— 60	»
	— au trot	— 409	»
	— à la voiture	— 57	»
	— (moyenne)	— 238	391,8
	Moyenne	— 88	397,7
Avoine seule	Repos	— 210	360,1
	Marche	— 273	365,6
	Travail à la voiture	— 823	390,1
	Moyenne	— 502	374,9
Avoine et paille	Repos	+ 580	418,4
	Marche	— 110	432,6
	Travail au pas	— 463	»
	— au trot	— 232	»
	— à la voiture	— 33	»
	— (moyenne)	— 236	413,6
	Moyenne	+ 162	418,7
Maïs et paille d'avoine	Repos	+ 201	450,5
	Marche	+ 25	467,9
	Travail au pas	— 54	»
	— au trot	— 201	»
	— à la voiture	— 730	»
	— (moyenne)	— 463	452,0
	Moyenne	— 47	453,9

EXPÉRIENCES	SITUATION	VARIATIONS journalières de poids	POIDS moyens
		Grammes	Kilogr.
Maïs et paille de blé	Repos	+ 217	448,4
	Marche	+ 62	444,6
	Travail au pas	— 85	»
	— au trot	— 137	»
	— à la voiture	— 703	»
	— (moyenne)	— 320	442,0
	Moyenne	— 25	445,0
Féverole	Repos	+ 20	477,2
	Marche	+ 63	472,4
	Travail au pas	— 127	»
	— au trot	— 226	»
	— à la voiture	— 468	»
	— (moyenne)	— 319	470,3
	Moyenne	Équilibre	474,1
Tourteau	Repos	+ 76	473,8
	Marche	— 169	487,6
	Travail au pas	+ 4	»
	— au trot	— 255	»
	— à la voiture	— 611	»
	— (moyenne)	— 379	468,5
	Moyenne	— 148	474,0
Pomme de terre et paille d'avoine	Repos	— 293	417,3
	Marche	— 28	439,4
	Travail au pas	— 87	»
	— au trot	— 221	»
	— à la voiture	— 350	»
	— (moyenne)	— 234	427,5
	Moyenne	— 215	425,6
Pomme de terre, grains et paille	Repos	— 12	402,5
	Travail à la voiture	— 113	393,0
	Moyenne	— 62	397,7
Maltine	Repos	+ 201	462,3
	Marche	— 3	456,3
	Travail au pas	— 171	»
	— au trot	— 242	»
	— à la voiture	— 381	»
	— (moyenne)	— 278	441,8
	Moyenne	Équilibre	454,2

EXPÉRIENCES	SITUATION	VARIATIONS journalières de poids	POIDS moyens
		Grammes	Kilogr.
Granules cuits	Repos	+ 227	441,5
Mélange 1897	Repos	+ 89	432,4
	Marche	— 101	410,4
	Travail au pas	— 137	»
	— au trot	— 422	»
	— à la voiture	— 528	»
	— (moyenne)	— 390	423,4
Moyenne		— 140	430,6
Sucre et foin	Travail à la voiture	+ 120	407,3
Sucre et granules	Travail à la voiture	+ 51	407,3
Sucre et maïs	Marche	+ 66	406,3
	Travail au trot	— 208	»
	— à la voiture	— 200	»
	— (moyenne)	— 204	402,0
Moyenne		— 136	403,1

tourteau, pommes de terre seules, mélange 1897, sucre et maïs). Pour faciliter l'examen des résultats obtenus avec ces différents régimes, nous les avons groupés, ci-dessus, en trois catégories, suivant que les rations ont été suffisantes, presque suffisantes (pertes de poids inférieures à 100 grammes par jour), ou insuffisantes, et dans chaque catégorie nous avons classé les expériences, non par ordre chronologique comme ci-dessus, mais en commençant par celles dont le résultat a été le plus favorable.

Cet ensemble de données permet de faire quelques remarques intéressantes : ainsi on peut constater que, dans chaque catégorie, se trouvent certaines rations à relation nutritive étroite, et d'autres à relation beaucoup plus large ; nous voyons, par exemple, la *féverole* produire, avec une relation de 1/3,53, le même effet que la *maltine* avec 1/9,16, pour un travail d'ailleurs équivalent.

Dans la deuxième catégorie, le *mélange de 1881* se signale par une perte de poids sensiblement égale à celle du *maïs avec paille d'avoine* et de la *pomme de terre* associée aux *grains*, dont la relation

nutritive est d'environ deux fois plus large ; mais il convient d'ajouter que le travail à la voiture (le seul dont nous avons la valeur exacte pour les expériences antérieures à 1887) a été, dans l'essai au *mélange*, notablement supérieur au travail produit avec le *maïs* ou la *pomme de terre*. Enfin, parmi les rations insuffisantes, nous voyons figurer, avec des pertes de poids très voisines, le *mélange de 1897* et le *tourteau*, dont les relations nutritives sont de 1/7,72 et 1/4,76, le travail moyen ayant été plus considérable avec le mélange qu'avec le tourteau. C'est encore dans la même catégorie que sont rangées les rations de *sucre et maïs* (relation nutritive : 1/23,12) et d'*avoine seule* (relation 1/6,44) qui ont, du reste, produit des résultats bien différents.

On peut conclure de là que *la valeur alimentaire d'une ration dépend beaucoup moins de sa relation nutritive que de la quantité totale de principes digestibles qu'elle renferme.*

Examinons maintenant les diverses expériences, dans l'ordre où elles ont été classées dans le tableau IV. Le régime des *granules* a produit, comme on le voit, le maximum d'augmentation de poids vif avec une faible teneur en éléments digestibles : nous ferons observer que ce régime n'a servi qu'à des chevaux au repos et qu'il est seul dans ce cas, toutes les autres expériences ayant porté sur des animaux au travail. En ce qui concerne l'*avoine avec paille*, il ne peut pas être question de comparer cette ration avec celle d'*avoine seule*, qui a été manifestement insuffisante ; si, d'autre part, le résultat moyen du régime avoine et paille a été meilleur que celui des essais au *maïs*, cela tient, surtout pour le *maïs avec paille d'avoine*, à l'excédent de travail à la voiture fourni dans ce dernier essai. La ration de *sucre et foin* semble, au premier abord, avoir constitué un régime préférable au *foin seul*, grâce au supplément de matières hydrocarbonées fourni aux chevaux, les matières azotées restant d'ailleurs les mêmes, mais nous devons remarquer qu'avec le foin seul, le travail à la voiture a été plus du double de celui du foin avec sucre. Quant aux rations de *féverole* et de *maltine*, elles démontrent que, dans les mêmes conditions de travail, on peut obtenir le même entretien de poids vif, en diminuant les matières azotées digestibles de plus de *500 grammes* par jour et en augmentant, par contre, les hydrocarbonés digestibles de 1 250 grammes.

La différence des résultats constatés avec les *mélanges de 1881 et 1897* ne peut être attribuée au travail, qui aurait plutôt agi en sens inverse, mais il est possible que la ration de 1881 étant déjà insuffisante, la plus faible diminution des matières azotées digestibles, non compensée d'ailleurs par une augmentation de matières hydrocarbonées, soient venue causer en 1897 une perte de poids deux fois et demie plus grande.

Le régime des *pommes de terre avec grains,* succédant à celui des *pommes de terre seules*, a apporté un supplément appréciable de principes azotés et non azotés digestibles ; aussi, tout en produisant plus de travail, les chevaux se sont-ils mieux comportés pendant la deuxième expérience.

Avec le *tourteau*, l'excès de matières azotées de la ration ne paraît pas avoir équilibré l'apport plutôt modeste en principes non azotés.

Enfin, pour terminer cette sorte de revision, nous ferons observer qu'à première vue on pourrait être surpris du résultat final produit par le régime *sucre et maïs*, qui, malgré ses $5^{kg},6$ d'hydrocarbonés digestibles, a causé une perte de poids assez sensible ; en remarquant toutefois que cette ration n'a livré que $0^{kg},262$ par jour de matières azotées digestibles à des animaux en plein travail (voir le tableau II, p. 200), on sera beaucoup moins étonné : il s'est produit ici le phénomène inverse de celui qui a été signalé pour le tourteau, c'est-à-dire que l'excédent de matières hydrocarbonées digérées n'a pas compensé la faiblesse de l'apport en matières azotées, apport qui s'est trouvé inférieur au minimum indispensable à l'entretien des muscles ; tant qu'il ne s'est agi que de simple transport, la ration, même avec moins d'azote, s'est montrée plus que suffisante, mais dès qu'on a voulu faire exécuter un travail mécanique supplémentaire, son insuffisance s'est manifestée aussitôt par la diminution des poids vifs.

Nous résumerons dans un autre article les résultats concernant la statique de l'azote, celle de l'eau et le travail produit par des chevaux d'expérience dans les diverses conditions par lesquelles ils ont passé.

EXPÉRIENCES

SUR

L'ENSILAGE DES BETTERAVES

ET DES PULPES

PAR MM.

L. MALPEAUX
DIRECTEUR

G. LEFORT
PROFESSEUR DE CHIMIE

A L'ÉCOLE PRATIQUE D'AGRICULTURE DU PAS-DE-CALAIS

Pendant la saison d'hiver, on est heureux de disposer des betteraves et des pulpes pour l'alimentation du bétail, car ces substances, très riches en eau, viennent se substituer avantageusement aux fourrages verts que les animaux ont pris l'habitude de consommer pendant la belle saison.

L'agriculteur trouve dans ces produits une précieuse ressource pour la nourriture des bovidés et particulièrement pour l'alimentation des vaches laitières ; il dispose ainsi de l'aliment aqueux que réclament leurs aptitudes physiologiques et leur exploitation économique pour la production du lait.

Malheureusement, les betteraves, comme les pulpes, sont altérables et subissent des pertes plus ou moins importantes pendant la conservation. Il est vrai que certains cultivateurs prétendent qu'elles s'améliorent en silo, qu'elles ont plus de valeur pour la nourriture si elles y ont séjourné au moins deux mois ; mais c'est là une affir-

mation sans preuves formelles, sur le compte de laquelle il serait intéressant d'être fixé. On ne sait pas en réalité si ces produits sont plus nutritifs, et, en admettant même qu'il y eût amélioration de la substance, il resterait à déterminer si le bénéfice ainsi obtenu suffirait pour compenser les pertes qui résultent de la conservation prolongée.

Depuis deux ans, nous poursuivons des recherches à Berthonval pour étudier les changements de composition des betteraves et des pulpes pendant leur conservation, et pour évaluer les pertes qui se produisent dans les diverses conditions d'ensilage.

I. — CONSERVATION DES BETTERAVES

Généralités sur la conservation

On doit rechercher, pour la conservation des racines en général et des betteraves en particulier, à restreindre les pertes au minimum, tout en se plaçant dans des conditions telles que leur enlèvement ultérieur et leur utilisation aient lieu au meilleur prix de revient possible.

On sait déjà que, selon les variétés, cette conservation peut réussir plus ou moins bien et se poursuivre plus ou moins longtemps. Il est reconnu notamment que les grosses racines, riches en eau, s'altèrent plus vite que les racines de grosseur moyenne, dont le taux de matière sèche est plus élevé.

Pour cette raison, la disette mammouth se conserve moins bien que l'ovoïde des Barres et, toutes choses égales, celle-ci s'altère avant la collet rose.

Au point de vue pratique, cela permet de suivre un ordre déterminé pour en régler la consommation. Il est logique d'utiliser en premier lieu les racines susceptibles de se détériorer plus vite, tandis qu'on conservera jusqu'à l'arrière-saison celles qui peuvent aller jusque-là sans perdre sensiblement de leur qualité.

Les racines sont entassées de façon à n'avoir à souffrir ni de la gelée, qui les ferait gâter promptement, ni d'une trop forte élévation

de température, qui favoriserait leur germination et le développement des fermentations putrides.

Dans le cours de ses travaux sur les fermentations, l'illustre Pasteur a parfaitement établi que les betteraves placées dans une atmosphère privée d'oxygène, dans un milieu uniquement pourvu de gaz carbonique et d'azote, sont rapidement détruites par les fermentations qui se développent aux dépens du sucre contenu dans les racines.

En examinant le jus altéré contenu dans ces betteraves, on y trouve les levures organisées des fermentations lactique et visqueuse, ainsi que les vibrions de la fermentation butyrique et de la putréfaction.

Il est par conséquent rationnel d'établir un courant d'air au sein des racines emmagasinées, de façon à chasser le gaz carbonique formé et à maintenir dans la masse une température constante se rapprochant de zéro. Ce résultat est facilement obtenu dans les hivers froids, mais il n'en est plus de même quand le temps reste doux. Il devient difficile en pareil cas d'éviter l'échauffement; aussi est-il prudent de ne jamais accumuler les racines en trop grandes masses.

On ne doit mettre à conserver que des betteraves saines. Celles qui sont gâtées ou blessées apportent les germes de l'altération et contribuent à la décomposition des autres. Les betteraves sont placées en caves ou en silos; ces derniers sont préférables, à la condition d'être exécutés avec beaucoup de soins. Généralement, on utilise les deux modes de conservation, en donnant les betteraves ensilées au bétail à la fin de la saison.

On a parfois recommandé de diviser les racines en cossettes avant l'ensilage. Cette pratique présenterait différents avantages :

1° Elle permettrait notamment de prolonger la conservation au delà des limites ordinaires, c'est-à-dire à une époque où la pousse et les fermentations, par suite d'une température extérieure plus élevée, redoublent d'activité et favorisent la pourriture;

2° Elle diminuerait la main-d'œuvre nécessitée par la préparation des racines au fur et à mesure des besoins de l'alimentation : les betteraves, étant divisées avec le coupe-racines aussitôt la récolte, pourraient être distribuées aux animaux dans les mêmes conditions que les pulpes;

3° Elle rendrait possible l'utilisation des sous-produits du battage, qui n'ont aucune valeur commerciale, des vieux foins et des pailles hachées; elle augmenterait leur valeur alimentaire. On sait, d'ailleurs, qu'on recommande depuis longtemps d'ajouter aux pulpes des matières absorbantes, pour diminuer les pertes en silo.

« Dans la pratique de l'ensilage, dit Cornevin, le grand avantage du mélange d'un fourrage, pailles, balles, etc., avec les pulpes est d'empêcher le suc de celles-ci de s'écouler dans le boit-tout et de les appauvrir en entraînant les principes nutritifs. Nous avons déjà fait remarquer que de leur côté les fourrages sont ramollis et sont plus facilement attaquables par les sucs digestifs. Ceci amène à préconiser l'utilisation des foins provenant des prairies basses, marécageuses, dans les mélanges en question. Ces foins renferment toujours une forte proportion de cypéracées et de typhacées qui les déprécient. Or, s'il est incontestable que ces plantes, distribuées à l'état de foin au bétail, sont peu nourrissantes et peu appétées; ce n'est pas parce qu'elles sont pauvres en éléments alibiles, notamment en protéine : les analyses de Mayer ont prouvé le contraire, mais parce que ces éléments sont emprisonnés dans une gangue qui les rend difficilement assimilables. Ce que nous disons ici du foin composé de joncs, de massettes, de souchets s'applique à beaucoup d'autres aliments durs, grossiers, ligneux, tels que les siliques, les tiges de crucifères, les tiges de polygonées et quelques graminées, etc. »

Les fermentations qui se déclarent dans l'ensilage des betteraves hachées doivent produire des effets analogues à ceux qui se produisent dans les silos de pulpes, et c'est en se basant sur l'opinion de Cornevin ou sur celle des agronomes en vue qu'on a recommandé l'incorporation de menues pailles aux betteraves, préalablement réduites en cossettes, et aux pulpes, comme un excellent moyen de diminuer les pertes pendant la conservation, tout en favorisant la consommation de résidus qui autrement resteraient inutilisés.

M. de Lapparent, inspecteur général de l'agriculture, a pratiqué l'ensilage des betteraves hachées pendant plusieurs années et s'en est bien trouvé. M. E. Mir, sénateur de l'Aude, président de la Société de l'alimentation rationnelle du bétail, l'a essayé également en mé-



langeant la betterave dépulpée avec de la menue paille. Ses premiers essais remontent à 1897. L'ensilage s'est très bien comporté, mais la menue paille n'avait pas été employée en quantité suffisante, par crainte d'une fermentation anormale, et le silo a coulé, donnant plusieurs hectolitres de jus par jour.

L'expérience a été reprise en 1899 avec des betteraves qui avaient fermenté par suite de l'accumulation sous des hangars voûtés et mal aérés. La quantité de menues pailles fut considérablement augmentée et l'écoulement ne dura que quelques jours. Au point de vue de la qualité de conservation, cet ensilage donna de bons résultats.

M. E. Mir est porté à croire que la betterave hachée et ensilée a une plus grande valeur alimentaire, soit qu'elle l'emprunte à elle-même ou à la transformation qu'elle subit, soit qu'elle l'emprunte aux matières étrangères auxquelles on l'incorpore, comme la menue paille, les mauvais foins, qui, ayant fermenté, deviennent assimilables et pour cela mieux utilisables.

M. E. Mir ensile chaque année de cette façon la récolte de 10 à 12 hectares de racines et obtient, sans autre manipulation ultérieure, de quoi nourrir un troupeau de quatre-vingts têtes bovines pendant six ou sept mois.

Ce mode de conservation des racines a séduit quelques agriculteurs parce qu'il évite de faire fonctionner chaque jour le coupe-racines pour préparer la ration des animaux et prolonge la conservation.

Il existe donc trois modes de conservation de la betterave :

1° Conservation des betteraves entières ;

2° Conservation des betteraves réduites en cossettes ensilées seules ;

3° Conservation des betteraves réduites en cossettes ensilées avec de menues pailles.

Il était intéressant de déterminer les pertes auxquelles donnent lieu ces différents systèmes, pour savoir celui qu'on doit préférer.

C'est une question sur laquelle nous sommes encore peu documentés, et nous pensons que les essais que nous avons entrepris à ce sujet intéresseront les agriculteurs.

a) CONSERVATION DES BETTERAVES ENTIÈRES

Travaux sur la question

Que savons-nous actuellement sur la conservation des betteraves en silo ? On admet généralement qu'elles perdent du poids et, comme la diminution de la richesse saccharine est un fait toujours constaté, on considère que cette perte est corrélative de la disparition du sucre. Les hydrates de carbone et le sucre en particulier se détruisent par la respiration.

En ce qui concerne la betterave à sucre, M. Pagnoul a montré que les racines ensilées perdent, d'avril à juin, 25 °/₀ de leur sucre par combustion lente. Mais, à part la constatation de la diminution du sucre, on est très peu renseigné sur l'importance de ces pertes ; on les a d'ailleurs déduites plutôt par raisonnement que par détermination expérimentale.

Parmi les travaux originaux qui ont été publiés sur les changements de composition des betteraves ensilées, nous pouvons citer ceux du Dr Miller, à Rothamsted, et du Dr Wood, à l'université de Cambridge.

Les premières expériences du Dr Miller remontent à 1898-1899. Elles ont porté sur des betteraves échantillonnées, aussi semblables que possible sous le rapport du poids et du volume, et conservées dans un endroit très frais. Deux sortes de racines étaient mises en comparaison : les unes différant des autres en ce qu'elles avaient reçu une fumure complémentaire d'environ 600 kilogr. de nitrate à l'hectare. L'expérience commença le 20 octobre 1898 et des échantillons furent prélevés le 31 octobre, le 6 janvier, le 28 mai, le 20 juin et le 11 juillet. Nous donnons ci-après en résumé les résultats des analyses.

On remarque que la perte en matière sèche dépasse la perte en poids total, ce qui s'accorde avec une augmentation de la teneur en eau des racines.

Les résultats obtenus pour l'analyse des betteraves avec nitrate sont très réguliers ; les pertes constatées, bien que plus élevées, n'en

sont que plus certaines. Cela tient à ce que ces betteraves, ayant reçu des nitrates, sont plus grosses et surtout plus aqueuses et s'altèrent rapidement.

DATES — 1898-1899	SANS NITRATE						AVEC NITRATE					
	Perte de poids pour cent	Quantité retrouvée pour cent du poids des racines à l'origine			Perte pour cent de chaque partie constitutive		Perte de poids pour cent	Quantité retrouvée pour cent du poids des racines à l'origine			Perte pour cent de chaque partie constitutive	
		Sucre		Azote	Matière sèche	Sucre		Sucre		Azote	Matière sèche	Sucre
		total	interverti					total	interverti			
31 octobre . . .	4,07	9,67	0,21	0,185	»	»	2,65	8,22	0,37	0,215	»	»
8 janvier. . . .	5,76	9,19	0,92	0,168	8,82	4,96	5,71	7,53	0,54	0,250	4,22	8,4
28 mars	7,22	9,80	0,69	0,156	3,33	+ 1,30	8,39	6,87	2,06	0,224	14,64	16,4
20 juin.	11,03	8,30	4,29	0,190	18,47	14,17	7,08	6,53	2,18	0,207	16,03	20,6
4 juillet	»	»	»	»	»	»	85.18	6,63	3,78	0,227	15,40	19,3

Le Dr Miller fait remarquer que jusqu'ici on a rarement déterminé les pentosanes dans la betterave; cependant, leur valeur comme nourriture est encore incertaine. Il serait utile de savoir jusqu'à quel point ils sont digestibles. Les changements dans les quantités de pentosanes conservées sont analogues à ceux qui se produisent pour les hydrates de carbone du type $C^6H^{12}O^6$, leur proportion restant en rapport avec les quantités de sucre et se trouvant être moindre dans les betteraves ayant poussé avec du nitrate. De Chalmont a déjà fait remarquer d'ailleurs que les pentosanes diminuent dans les plantes, en même temps que les matières azotées augmentent.

Comme conclusion de ces premiers essais, le Dr Miller fait remarquer que les pertes augmentent avec la durée de conservation et qu'il ne lui paraît pas rémunérateur de la prolonger au delà du mois d'avril. En admettant même que la digestibilité de la cellulose en particulier soit augmentée, une amélioration de cette nature serait de bien maigre importance, parce que la quantité de cellulose contenue dans les betteraves est très faible.

En résumé, le Dr Miller a montré que les betteraves conservées dans une cave bien fraîche s'appauvrissent en matière sèche, surtout à cause de la destruction du sucre. Dans deux silos différents, dont les racines pesaient respectivement 1 250 et 1 500 grammes de poids moyen, il a constaté, de novembre 1898 à juin 1899, une perte de sucre de 14 °/₀ dans le premier cas et de 19,9 °/₀ de sucre dans le second, par comparaison avec leur composition au moment de l'ensilage.

En 1900-1901, Miller fit encore de nouvelles recherches sur les changements dans la composition des betteraves, qui, ayant poussé dans les conditions habituelles, furent conservées en silo dans la ferme de Rothamsted.

Le tableau de la page suivante donne :

1° La composition de la matière sèche des racines;

2° La composition des racines fraîches;

3° Les quantités des différentes parties constitutives retrouvées pour cent du poids primitif des racines;

4° La répartition des pertes.

La perte totale en poids au 26 juillet s'élevait à 14 °/₀, apparemment répartie en 11,5 °/₀ d'eau et 2,5 °/₀ de matières organiques. D'après la proportion pour cent de chaque partie constitutive, les pertes réelles étaient : pour le sucre, de 21,7 °/₀ ; pour les pentosanes, de 18,6; pour la cellulose, de 8,7; pour l'azote total, de 29,5 °/₀. Cette dernière perte avait porté presque exclusivement sur l'azote non alimentaire.

Le Dr Miller cite quelques travaux sur la question. Il rapporte que les ensilages faits au Danemark ont donné des pertes beaucoup moindres en sucre et en matières sèches, et il attribue ce fait d'une meilleure conservation au climat beaucoup plus froid. Il cite aussi un rapport de F. T. Shutt, au sujet des betteraves conservées à la ferme d'expériences de l'État du Canada, en 1901, d'après lequel, sur les trois variétés de betteraves ensilées et examinées à trois dates différentes : 27 octobre, 15 janvier et 16 mars, on a pu constater des pertes en matière sèche pendant la conservation. L'azote total augmentait dans la matière sèche de deux variétés, à cause de la destruction plus rapide de certaines autres matières organiques non

Composition des betteraves récoltées dans les champs Stackyard Rothamsted 1900

DATES	EAU	MATIÈRE		CENDRES	SUCRE			PENTOSANES	CELLULOSE	AZOTE				
		sèche	organique		(saccharose)	réducteur	total (en saccharose)			total	non protéique	Protéique total	Protéique digestible	Protéique non digestible
En matière sèche														
30 novembre 1900	»	100	92,88	7,12	60 »	4,4	64,10	7,13	5,69	1,327	0,913	0,444	0,355	0,089
8 mai 1901	»	100	92,11	7,89	44,4	20,7	64,00	»	5,71	1,338	0,873	0,465	0,352	0,113
26 juillet 1901	»	100	90,98	9,02	37,3	27,6	63,60	7,33	6,59	1,205	0,678	0,527	0,386	0,141
Dans les racines fraîches														
30 novembre 1900	87,94	12,06	11,20	0,86	7,23	0,53	7,73	0,86	0,69	0,163	0,109	0,054	0,043	0,011
8 mai 1901	88,36	11,64	10,72	0,92	5,17	2,41	7,46	»	0,67	0,156	0,103	0,053	0,040	0,013
26 juillet 1901	88,93	11,07	10,07	1,00	4,13	3,06	7,04	0,81	0,73	0,133	0,074	0,059	0,043	0,016
Dans le poids primitif des racines (novembre 1900)														
30 novembre 1900	87,94	12,06	11,20	0,86	7,23	0,53	7,73	0,86	0,69	0,163	0,109	0,054	0,043	0,011
8 mai 1901	82,60	10,88	10,02		4,83	2,25	6,97	»	0,62	0,146	0,095	0,051	0,039	0,012
26 juillet 1901	76,48	9,52	8,66		3,55	2,63	6,05	0,70	0,63	0,115	0,065	0,050	0,037	0,013
Perte réelle des racines (novembre à juillet)	11,46	2,54	2,54	»	3,68	+ 2,10	1,68	0,16	0,06	0,048	0,044	0,004	0,006	+ 0,002
Perte pour cent des éléments constitutifs	13,60	21,11	22,7	»	»	»	21,7	18,6	8,7	29,5	»	»	»	»

azotées ; l'azote total diminuait au contraire dans une autre variété et la perte affectait surtout l'azote protéique. Pour les trois variétés, on a constaté une perte en azote alimentaire au profit de l'azote non alimentaire.

Au sujet des transformations de la matière azotée dans les betteraves ensilées, nous devons signaler une étude très intéressante faite par le Dr T. B. Wood, directeur de l'université de Cambridge.

Déjà, en 1896-1897, à la suite d'analyses de betteraves effectuées une fois par mois, d'octobre à avril, ce savant avait remarqué que la quantité d'azote nitrique, qui était très grande au mois d'octobre, décroissait rapidement et qu'à la Noël la proportion se trouvait réduite au tiers de la quantité primitive.

Les analyses furent répétées pendant l'hiver de 1897-1898 sur une plus vaste échelle ; des échantillons de six betteraves d'un poids uniforme furent pris pour chacune d'elles.

Voici les résultats qui ont été constatés par l'analyse du jus :

DATES des analyses	AMMONIAQUE	NITRATES	AMIDES	ALBUMINOÏDES	PEPTONES	AZOTE total
1er janvier. .	0,021	0,043	0,044	0,036	0,015	0,159
15 janvier. .	0,019	0,020	0,062	0,036	0,019	0,156
7 mars . .	0,023	0,025	0,089	0,044	0,022	0,203
15 mai . . .	0,017	0,024	0,081	0,046	0,021	0,189

On peut voir que l'azote nitrique va en diminuant pendant que l'azote albuminoïde et surtout l'azote amidé augmentent. Le tableau suivant montre plus clairement cette transformation :

Répartition pour cent d'azote total trouvé dans le jus

DATES des analyses	AMMONIAQUE	NITRATES	AMIDES	ALBUMINOÏDES	PEPTONES	AZOTE total
1er janvier . .	13	27	28	22	10	100
15 janvier . .	12	13	40	23	12	100
7 mars . . .	11	13	43	22	11	100
15 Mai	9	13	43	24	11	100

Dès le 15 janvier, les nitrates ont diminué de moitié et en même

temps la quantité d'amides s'est élevée en proportion. On ne sait pas bien si ces derniers sont utiles dans la ration ; mais, ce qui est certain, c'est qu'ils ne sont pas nuisibles. Il n'en est pas de même des nitrates, qui sont souvent la cause de dérangements dans la digestion. Il y a aussi une légère augmentation dans les albuminoïdes et les peptones, qui sont certainement de la plus haute valeur nutritive.

Ces constatations permettent d'expliquer, dans une certaine mesure, pourquoi les cultivateurs considèrent les betteraves ensilées comme ayant une plus grande valeur alimentaire.

Il est très intéressant de savoir ce que deviennent les racines conservées pendant un temps très long. Le Dr Miller a eu l'occasion d'étudier une betterave après un an d'ensilage ; sur cent racines ensilées en novembre 1899, une seule fut retrouvée tout à fait saine en novembre 1900 ; elle fut analysée et les résultats obtenus permirent de constater des changements très remarquables :

ÉLÉMENTS DOSÉS	COMPOSITION	
	A l'ensilage le 30 novembre 1899	Après un an d'ensilage le 13 novembre 1900
Eau	88,66	94,07
Matière sèche	11,34	5,93
Matière organique	10,38	4,82
Saccharose	6,80	0,20
Sucre réducteur	0,34	0,88
Sucre total en saccharose	7,11	1,03
Cellulose	0,69	0,63
Azote total	0,216	0,259
Azote non protéique	0,131	0,198
Azote protéique	0,085	0,061

Comme on peut s'en rendre compte, la racine ensilée renfermait 5,93 °/₀ de matière sèche au lieu de 11,34 lors de son ensilage. Le sucre total était tombé de 7,11 à 1,03 °/₀ et le sucre restant était totalement interverti. L'azote total n'avait pas diminué, mais l'azote alimentaire avait, par contre, disparu en partie pour passer à l'état d'amides, les matières azotées non protéiques ayant augmenté dans une forte proportion.

Expériences de Berthonval. But et disposition des recherches

Dans les expériences que nous poursuivons depuis deux ans à Berthonval, nous avons déterminé :

1° La perte brute ainsi que la perte de matière sèche pendant la conservation ;

2° La composition des produits avant et après l'ensilage, pour connaître les transformations des principes immédiats et les pertes inhérentes à chacun d'eux.

Ces déterminations présentent de sérieuses difficultés et l'échantillonnage n'en est pas une des moindres. Nous avons établi, en octobre 1903, différents silos en mettant dans chacun d'eux la même quantité de betteraves entières.

Ils furent défaits en février, quatre mois après. Le poids des racines retrouvées fut déterminé avec soin.

En 1904, nous avons complété ces expériences en disposant à nouveau différents silos semblables de betteraves entières. Nous avons pu ainsi déterminer les pertes et les changements de composition de la substance au bout de deux, quatre, six, huit et onze mois.

Dans tous ces essais, les betteraves furent analysées au début et à la fin des expériences.

Les échantillons étaient de vingt betteraves, comprenant chaque fois le même nombre de grosses, de moyennes et de petites racines, choisies de manière à donner toujours un poids moyen convenable, en rapport avec les variations de poids constatées.

Pour chaque échantillon, les betteraves furent râpées intégralement ; la pulpe, recueillie dans une terrine bien étanche, fut mélangée intimement et débarrassée de semelles provenant de la râpe. Un échantillon de plusieurs kilogrammes fut desséché à l'étuve pour obtenir la matière sèche ; cette dernière fut déterminée à part par la dessiccation de 300 grammes de pulpe et le reste de la râpure fut pressé pour permettre l'analyse du jus. Les premières déterminations effectuées sont résumées dans le tableau suivant.



Variations du poids brut et pertes de matière sèche pendant la conservation des betteraves entières.

	DÉSIGNATION DES SILOS	DURÉE de l'ensilage	POIDS		GAIN ou perte de poids brut	MATIÈRE SÈCHE POUR CENT			PERTE pour cent subie par la matière sèche	100 KILOGR. de matière ensilée ont perdu	
			de matière ensilée	de betteraves retrouvées		de matière ensilée	de matière retrouvée saine	restant sur 100 kilogr. de betteraves ensilées		en matière sèche	en sucre total (exprimé en saccharose)
	Betteraves										
1903-1904	B. Kirsch	4 mois. . . . . (oct.-février)	1 000	1 002	+ 0,2	9,5	9,0	9,02	6,0	0,48	0,57
1903-1904	B. Collet rose.	4 mois. . . . . (oct.-février)	1 000	1 000	»	13,3	12,1	12,1	9,0	1,2	1,30
1904-1905	B. Ovoïde des Barres. . . .	2 mois. . . . . (16 nov.-16 janv.)	1 000	1 000	»	12	11,8	11,8	1,7	0,2	0,48
1904-1905	B. Ovoïde des Barres. . . .	4 mois. . . . . (16 nov.-16 mars)	1 000	1 036	+ 3,6	12	11,3	11,7	2,5	0,3	1,37
1904-1905	B. Ovoïde des Barres. . . .	6 mois. . . . . (16 nov.-16 mai)	1 000	990	— 1,0	12	11,5	11,38	5,2	0,62	2,03
1904-1905	B. Ovoïde des Barres. . . .	8 mois. . . . . (16 nov.-16 juill.)	1 000	910	— 9,0	12	9,3	8,46	29,5 22,5	3,54 2,70	4,33 4,01
1904-1905	B. Ovoïde des Barres. . . .	11 mois . . . . (16 nov.-21 oct.)	1 000	444	—55,6	12	6,8	3,02	74,8 43,3	8,98 5,20	6,65 5,42

NOTA. — Les chiffres plus petits en interligne représentent les pertes pour cent subies par les betteraves saines.

Pertes de poids brut et de matière sèche

On est surpris, au premier abord, de constater que la perte de poids après quatre et même six mois d'ensilage est à peu près nulle, et nous avouerons que lorsque nous avons retrouvé 1 036 kilogr. pour les betteraves Ovoïde des Barres, conservées pendant quatre mois, nous avons fait recommencer le pesage pour nous assurer qu'il n'y avait pas eu d'erreur.

Il est d'opinion courante en effet que les betteraves diminuent de poids pendant la conservation. Nous estimons qu'il y a lieu de faire une distinction entre la conservation en cave et la conservation dans les silos en terre.

Dans le premier cas, la perte de poids se conçoit facilement, car par évaporation les racines perdent de l'eau; d'ailleurs, on remarque souvent que les betteraves conservées de cette manière deviennent molles et se flétrissent au bout d'un certain temps.

Dans les silos en terre, au contraire, les betteraves sont toujours bien fraîches et présentent un aspect tout à fait semblable à celui qu'elles avaient à l'origine. Les variations de poids qu'elles subissent sont très faibles, étant donné qu'elles se trouvent dans un espace saturé de vapeur d'eau. Grâce à leur hygroscopicité, elles maintiennent non seulement leur teneur en eau, mais l'absorption de l'humidité vient compenser assez régulièrement la perte en matière sèche.

M. Georges Dureau, dans son *Traité sur la betterave à sucre*, rappelle à ce sujet que Marek avait constaté en 1883, sur des betteraves à sucre mises en silo, une augmentation de poids de :

Après un mois.	2 %
Après deux mois	4,5
Après trois mois	6,6
Après quatre mois.	7

Comme M. Dureau, nous pensons que la variation du poids brut des betteraves est en rapport avec les conditions météorologiques observées durant la conservation et ne permet pas d'apprécier les pertes véritables. Faut-il rappeler à cette occasion que Dr Miller a

constaté qu'une betterave restée saine après un an d'ensilage, encore bien fraîche, bien dure, absolument semblable aux racines de la dernière récolte, sans aucune apparence extérieure de modification, ne renferme plus que 6 °/. de matière sèche sur plus de 11 °/₀ qu'elle contenait au début.

Après huit mois, les pertes s'accentuent; après onze mois, elles sont énormes, mais elles résultent uniquement de l'altération des racines mortes, qui entrent en putréfaction. Les betteraves restées saines ne perdent pas de poids pour leur propre compte.

En juillet, nous avons retrouvé en effet 910 kilogr. de betteraves saines et 91 kilogr. de betteraves gâtées inutilisables. Soit 1001 kilogr. retrouvés sur 1000 kilogr. ensilés à l'origine. Ce sont donc seulement les betteraves gâtées qui forment le déchet. Il est important de le constater pour la recherche des transformations des éléments constitutifs de la betterave. On sait ainsi qu'une racine retrouvée saine a conservé sensiblement le poids qu'elle avait lors de la mise en silo.

Après onze mois, plus de la moitié des betteraves étaient gâtées, en décomposition putride tellement avancée qu'il n'était plus possible de les peser séparément. Cependant, il était toujours facile de voir à l'apparence que les betteraves restées indemnes avaient dû encore conserver leur poids primitif. Nous trouvons d'ailleurs la confirmation de cette supposition en considérant le pourcentage des cendres. Celui-ci n'a guère varié, ainsi qu'on pourra le constater dans les tableaux qui suivent.

L'altération rapide des racines pendant ces derniers mois de conservation prolongée s'explique assez aisément.

Jusqu'au mois de mars, et surtout dans le début de l'année, la conservation est excellente; on constate que toutes les racines continuent à vivre, elles développent de jeunes pousses autour du collet. Deux mois plus tard, les jeunes pousses ont disparu, elles se sont flétries, noircies et desséchées. A partir de cette époque, beaucoup de racines meurent. Avec la température plus élevée, la respiration devient plus active, les racines, peu à peu privées d'oxygène, sont dans une atmosphère d'azote et d'acide carbonique qui les asphyxie. Ces causes d'altération s'exagèrent pendant les grandes chaleurs de l'été,

en même temps que les fermentations, également favorisées, désorganisent les tissus des racines qui ont cessé de vivre.

La conservation des racines entières après le mois de mai, et surtout durant tout l'été, est donc grosse de difficultés; fort heureusement, à cette date, elle n'est plus que d'une utilité très discutable.

Une condition indispensable de réussite, c'est que les racines restent vivantes, et, pour cela, il faudrait faire des silos présentant une section d'autant plus petite que l'on voudrait avoir une conservation plus longue; ces silos devraient être pourvus de nombreuses cheminées d'aération qui permettraient le renouvellement de l'air et l'évacuation de l'acide carbonique. Nous croyons même qu'il serait nécessaire de défaire le silo et de le refaire aussitôt, pour arriver à une aération suffisante. Cette opération devrait être recommencée tous les mois d'été; elle permettrait le triage des betteraves gâtées, ce qui éviterait la contamination des racines en bon état. Une telle besogne exigerait une main-d'œuvre assez importante. Il serait sans doute préférable de transporter, à partir du mois d'avril ou du mois de mai, les betteraves des silos dans des caves, où elles se conserveraient mieux pendant la saison chaude, en raison d'une température à la fois plus basse et plus régulière, et d'une aération plus convenable. Enfin, on pourrait aussi prolonger la conservation en les ensilant après les avoir débitées en cossettes.

Nous constatons également que les pertes en matière sèche augmentent avec la durée de la conservation. Dans les quatre premiers mois, la proportion de matière sèche ne diminue pas trop, tout au moins en ce qui concerne les ovoïdes des Barres, qui se sont mieux conservées que les autres variétés (probablement parce qu'elles étaient exceptionnellement petites, ayant beaucoup souffert de la sécheresse pendant leur végétation). Il y a tout lieu de croire que, si elles avaient été plus grosses, elles auraient été aussi plus aqueuses et auraient perdu davantage.

Passé le mois de mai, les pertes en éléments nutritifs s'élèvent rapidement. Après huit mois, il en manque 29,5 °/₀ et après onze mois 74,8, c'est-à-dire que les trois quarts de la matière sèche ont disparu ou ne peuvent plus être utilisés, en raison de la pourriture.

Si nous nous bornons à considérer les racines retrouvées en parfait état dans le silo, nous trouvons que, bien qu'ayant toujours à peu près le même poids qu'au moment de l'ensilage, elles ont perdu pour leur propre compte, 22,5 °/₀ de leur matière sèche en huit mois et 43,3 °/₀ en onze mois. Il en résulte qu'en admettant même la possibilité de retrouver toutes les betteraves bien saines après onze mois de conservation, il n'en resterait pas moins à constater que, du sixième au huitième mois, la perte de matière sèche s'est élevée de 20 °/₀, et que, du huitième au onzième mois, cette perte s'est encore accrue de la même quantité.

Pour la clarté de l'exposé qui va suivre, nous appellerons *conservation normale* celle qui doit se terminer au plus tard vers la fin de mai; c'est d'ailleurs celle que l'on cherche à réaliser couramment dans la pratique; elle ne donne lieu qu'à des pertes de matière sèche relativement peu importantes. Nous réserverons la dénomination de *conservation anormale ou prolongée* à celle qui, par le fait même qu'elle est continuée plus longtemps, se traduit par des pertes exceptionnelles.

Composition comparée des betteraves avant et après l'ensilage

Le tableau suivant, donnant la composition des betteraves avant et après l'ensilage, permet de se rendre compte des transformations que subissent les différents principes immédiats. Nous rappelons que les échantillons ont été prélevés avec le plus grand soin possible, qu'ils étaient toujours recherchés de manière à présenter un poids moyen bien proportionné à la variation du poids total des matières ensilées, qu'ils se composaient toujours de vingt betteraves réparties en un même nombre de grosses, de petites et de moyennes racines, de façon à éliminer des essais, autant qu'il était possible de le faire, l'influence individuelle des racines choisies pour les analyses.

On remarque que, par suite de la diminution plus rapide du sucre, la proportion du non-sucre va en augmentant.

On pourrait discuter longuement sur ces résultats, mais il est plus facile de tirer les déductions de l'analyse par la comparaison des

COMPOSITION	BETTERAVE blanche à collet rose de distillerie		BETTERAVE idéale de kirsch		BETTERAVE OVOÏDE DES BARRES						
	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois		A l'ensilage	Après deux mois	Après quatre mois	Après six mois	Après huit mois	Après onze mois
Poids moyen de la racine	1,100	1,100	1,400	1,400		0,390	0,390	0,415	0,390	0,390	0,390
Densité du jus à 15 degrés	4°,8	4°,6	3°,7	3°,5		4°,5	4°,2	4°,1	3°,7	3°,0	2°,2
Sucre pour cent en centimètres cubes de ce jus	9,48	6,98	5,89	3,83	Sucre	8,30	7,20	5,60	4,61	0,86	0,41
					Glucose	0,12	0,51	1,10	1,67	3,20	2,05
Sucre pour 100 grammes de betteraves	8,60	6,34	4,94	3,52	Sucre	7,61	6,60	5,30	4,27	0,80	0,39
					Glucose	0,11	0,48	1,01	1,58	2,98	1,93
Matière sèche	13,30	12,10	9,50	9,00		12,00	11,80	11,30	11,50	9,3	6,8
Humidité	86,70	87,90	90,50	91,00		88,00	88,20	88,70	88,50	90,7	93,2
Total	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composition de la matière sèche.											
Matières organiques azotées	7,25	7,20	8,00	8,10		12,40	12,00	15,10	14,50	16,10	19,25
Matières grasses	0,70	0,80	0,80	1,60		0,10	0,40	0,80	0,60	1,70	1,60
Matières sucrées { saccharose	64,10	50,80	52,70	40,40		62,80	56,80	46,90	36,70	8,60	5,70
Matières sucrées { glucose	»	9,40	»	9,10		0,90	4,10	8,90	13,20	32,00	28,40
Autres extractifs non azotés	7,35	7,00	11,10	14,00		5,40	7,40	5,90	13,30	16,60	12,05
Fibre ou cellulose	7,10	9,70	9,00	10,60		7,40	7,40	9,60	9,30	10,20	13,00
Matières minérales	13,50	15,10	15,10	16,20		11,00	11,90	12.80	12,40	14,80	20,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Azote organique total	1,16	1,15	1,28	1,29		1,98	1,92	2,41	2,32	2,57	3,08
— alimentaire	0,60	0,63	1,03	0,63		1,03	0,82	1,20	0,98	0,84	1,30
— non alimentaire	0,56	0,52	0,25	0,66		0,95	1.10	1,21	1,34	1,73	1,78
— nitrique	0.292	0,204	0,422	0,385		0,38	0,40	0,28	0,29	0,40	0,44
Sucre total exprimé en saccharose	64,1	59,7	52,7	49,0		63,7	60,7	55,4	49,3	39,0	32,7

Composition des racines à l'état normal

	BETTERAVE collet rose		BETTERAVE kirsch		BETTERAVE OVOÏDE DES BARRES					
	A l'en-silage	Après quatre mois	A l'en-silage	Après quatre mois	A l'en-silage	Après deux mois	Après quatre mois	Après six mois	Après huit mois	Après onze mois
Eau et matières volatiles	86,70	87,90	90,50	91,00	88,00	88,20	88,70	88,50	90,70	93,20
Matières organiques azotées	0,96	0,87	0,76	0,73	1,49	1,42	1,71	1,67	1,50	1,31
Matières grasses	0,09	0,10	0,08	0,14	0,01	0,05	0,09	0,07	0,16	0,11
Matières sucrées. glucose	»	1,14	»	0,81	0,10	0,48	1,01	1,52	2,98	1,93
Matières sucrées. saccharose	8,53	6,15	5,00	3,64	7,54	6,70	5,30	4,22	0,80	0,39
Autres matières organiques	0,98	0,84	1,37	1,26	0.58	0,88	0,66	1,52	1,53	0,82
Cellulose	0,94	1,17	0,85	0,96	0,89	0,87	1,08	1,07	0,95	0,88
Matières minérales	1,80	1,83	1,44	1,46	1,39	1,40	1,45	1,43	1,38	1,36
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Sucre total exprimé en glucose	8,98	7,61	5,26	4,64	8,04	7,53	6,59	5,96	3,82	2,34
Matière sèche	13,3	12,1	9,5	9,00	12,00	11,8	11,3	11,5	9,3	6,8
Azote organique total	0,154	0,149	0,122	0,116	0,238	0,227	0,272	0,267	0,239	0,209
— alimentaire	0,080	0,076	0,098	0,057	0,124	0,098	0,135	0,118	0,078	0,088
— non alimentaire	0,074	0,063	0,024	0,059	0,114	0,129	0,137	0,154	0,161	0,121
— nitrique	0,039	0,025	0,040	0,035	0,046	0,047	0,032	0,033	0,037	0,030

racines à l'état normal, c'est-à-dire telles qu'elles sont distribuées aux animaux.

Connaissant la composition de la matière sèche et la proportion de celle-ci dans les betteraves retrouvées, il nous était facile de rétablir, par le calcul, cette composition des racines fraîches.

Pendant la conservation normale, à part la transformation d'une partie des nitrates en azote non alimentaire, il est difficile, en raison de la petite quantité de cellulose et de matières azotées que les betteraves renferment, de conclure que les racines éprouvent une amélioration matérielle. Nous remarquons cependant que la diminution des nitrates pour la betterave ovoïde des Barres n'avait pas encore eu lieu après deux mois et qu'il en restait encore au moins les deux tiers après quatre et six mois et même vers la fin des expériences.

Le passage des nitrates à l'état d'amides ne s'est effectué qu'en partie et bien plus lentement que dans les expériences du Dr Wood.

La formation des composés amidés aux dépens des nitrates est un phénomène régulièrement constaté dans la nutrition des végétaux.

On admet maintenant que l'utilisation de l'azote nitrique, que les plantes puisent dans le sol pour former les principes immédiats, se fait par deux étapes successives : réduction et formation d'ammoniaque ou de composés amidés qui se produit même à l'obscurité, transformation de cette ammoniaque en matière albuminoïde qui exige l'intervention de la lumière comme l'assimilation du carbone.

M. Demoussy a montré que si les nitrates s'accumulent dans les betteraves, c'est parce qu'ils acquièrent dans les cellules une insolubilité relative. Le protoplasma exerce sur ces sels une sorte de pouvoir rétentif qui équivaut à une véritable précipitation.

Dans les silos, la lumière faisant défaut, la modification subie par les nitrates se borne à la première étape, c'est-à-dire à la réduction. Leur transformation en amides doit surtout avoir lieu à l'époque où les racines commencent à pousser. Il y a là une sorte de germination qui met en jeu les diastases. Ce seraient celles-ci qui, pour donner aux matières azotées de réserve une forme de voyage, détermineraient l'apparition des amides aux dépens des nitrates comme des albuminoïdes.

Il est probable que la betterave s'améliore un peu au point de vue

de ses qualités digestives, mais cette amélioration ne peut pas être bien grande, car les betteraves fraîches ont déjà des coefficients de digestibilité très élevés. D'après des déterminations récentes de M. Garola, sur la betterave fourragère corne de bœuf et la betterave sucrière Klein Wanzleben, effectuées peu de temps après la récolte, ces coefficients sont les suivants :

MATIÈRES	CORNE DE BŒUF	KLEIN WANZLEBEN
Albuminoïdes	81,8	65,8
Amides	97,8	93,4
Sucres	99,6	99,5
Pentosanes	89,7	94,2
Cellulose	82,4	75,2

Donc, si nous négligeons les considérations sur le coefficient de digestibilité des éléments, coefficient que l'analyse ne permet pas d'évaluer sans avoir recours à l'expérience directe sur les animaux, nous sommes plutôt amenés à constater, en raison de la disparition progressive des matières sucrées, que la betterave diminue de qualité pendant l'ensilage.

D'autre part, il est facile de remarquer que, si toute la matière azotée persiste dans la conservation, elle n'en subit pas moins une transformation défavorable à sa valeur nutritive. Les albuminoïdes vont en diminuant tandis que le taux de l'azote non alimentaire, surtout représenté par les amides, s'accroît progressivement.

Ces amides possèdent un coefficient de digestibilité tel qu'on peut admettre qu'elles sont digérées en totalité, mais on doute encore beaucoup de leur valeur nutritive, car il semble qu'elles sont rapidement éliminées de l'organisme sans avoir produit d'effet utile.

Il y a, en définitive, transformation de l'azote alimentaire des betteraves en azote non alimentaire.

Répartition des pertes de matière sèche

Puisque nous connaissons la variation du poids des racines pendant l'ensilage et leur composition humide au moment de l'ouverture des silos, nous pouvons calculer le poids des matières retrouvées

ÉLÉMENTS DOSÉS	BETTERAVE collet rose			BETTERAVE IDÉALE de kirsch			BETTERAVE OVOÏDE DES BARRES										
	Quatre mois			Quatre mois				Deux mois		Quatre mois		Six mois		Huit mois		Onze mois	
	A l'ensilage	Après l'ensilage	Pertes °/o	A l'ensilage	Après l'ensilage	Pertes °/o	A l'ensilage	Après l'ensilage	Pertes °/o	Après l'ensilage	Pertes °/o	Après l'ensilage	Pertes °/o	Après l'ensilage	Pertes °/o	Après l'ensilage	Pertes °/o
Matière sèche	12,3	12,10	9	9,5	9,02	6	12,0	11,8	1,7	11,7	2,5	11,38	5,2	8,46	29,5	3,02	74,8
Matières azotées totales . .	0,96	0,87	9,4	0,76	0,73	5,3	1,49	1,42	4,7	1,77	+ 18,1	1,65	+ 10,7	1,37	8,0	0,58	61,1
Azote alimentaire.	0,080	0,076	5	0,098	0,057	41,8	0,124	0,098	21	0,140	+ 13,0	0,112	9,8	0,071	42,7	0,039	68,6
Azote non alimentaire. . .	0,074	0,068	»	0,024	0,059	»	0,114	0,129	»	0,142	»	0,152	»	0,147	»	0,054	»
Azote nitrique	0,039	0,025	»	0,040	0,035	»	0,046	0,047	»	0,034	»	0,032	»	0,031	»	0,013	»
Matières grasses	0,09	0,10	»	0,08	0,14	»	0,01	0,05	»	0,09	»	0,07	»	0,15	»	0,05	»
Matières sucrées en glucose.	8,98	7,61	1,58	5,26	4,65	11,6	8,4	7,53	6,3	6,88	15,0	5,90	26,6	3,48	56,7	1,04	87,1
Cellulose	0,94	1,17	+ 24,5	0,85	0,96	+ 12,9	0,89	0,87	2,2	1,12	+ 25,9	1,06	+ 19,1	0,86	3,4	0,89	56,2
Matières minérales	1,80	1,83	»	1,44	1,45	»	1,39	1,40	»	1,50	»	1,42	»	1,26	»	0,60	»
Saccharose	8,53	6,15	27,9	5,00	3,65	27,0	7,54	6,70	12,5	5,49	27,2	4,18	44,6	0,73	90,3	0,17	97,7

NOTA. — Le signe + indique un gain au lieu d'une perte.

pour cent de la betterave ensilée et déterminer ainsi la perte pour cent subie par chacun de leurs éléments constitutifs.

Les résultats figurent dans le tableau ci-dessus.

Après l'ensilage, même dans une conservation prolongée, on retrouve sensiblement la totalité de l'azote contenu dans les betteraves.

Il est même assez curieux de constater une augmentation de matières azotées dans les racines après quatre mois d'ensilage. Nous avons attribué cette différence à l'influence individuelle des betteraves constituant le lot analysé, mais n'est-il pas bizarre qu'au bout de six mois le même fait se soit encore présenté?

Il nous paraît invraisemblable que les betteraves ensilées soient capables de fixer de l'azote, mais ces résultats nous conduisent à affirmer que la matière azotée se conserve en totalité dans les betteraves entières. Les analyses de Miller et de Wood, que nous avons citées précédemment, permettent d'ailleurs de faire la même constatation.

Pendant la conservation prolongée au delà de six mois, surtout après onze mois, nous avons à constater sur tous les éléments dosés des pertes énormes. Cela n'est pas étonnant, puisque plus de la moitié des matières ensilées étaient pourries, au point d'être tout à fait inutilisables.

Composition et pertes subies par les betteraves saines pendant une conservation prolongée

ÉLÉMENTS DOSÉS	BETTERAVE OVOÏDE DES BARRES					BETTERAVE DU Dr MILLER		
	A l'ensilage	Après huit mois d'ensilage		Après onze mois d'ensilage		A l'ensilage	Après un an d'ensilage	
	Composition		Pertes °/o	Composition	Pertes °/o	Composition		Pertes °/o
Matière sèche	12,0	9,3	22,5	6,8	43,3	11,34	5,93	47,7
Azote organique total	0,238	0,239	»	0,209	12,1	0,216	0,259	+ 19,9
Azote alimentaire	0,124	0,078	37,1	0,088	29,0	0,085	0,061	28,2
Azote non alimentaire	0,111	0,161	+ 41,2	0,121	+ 6,1	0,131	0,198	+ 51.1
Saccharose	7,54	0,80	89,4	0,39	94,8	6,80	0,20	97,1
Sucre total en glucose	8,04	3,82	52,5	2,34	70,9	7,50	1,09	85,5
Cellulose	0,89	0,95	+ 86,7	0,88	1,1	0,69	0,63	4,4

NOTA — Le signe + indique un gain au lieu d'une perte.

Abstraction faite de la pourriture dans le silo, en supposant, comme nous l'avons déjà fait pour l'évaluation des pertes de matières sèches, qu'on retrouve toutes les betteraves saines avec leur poids initial, on arrive, pour la conservation prolongée, aux résultats indiqués dans le tableau de la page précédente.

Nous rapprochons les chiffres que nous avons trouvés de ceux que le Dr Miller a donnés comme représentant la composition de la betterave qu'il avait analysée après un an d'ensilage. Comme il est facile d'en juger, ils s'accordent assez bien. Il se confirme que toutes les matières azotées organiques restent dans la racine, seulement l'azote alimentaire diminue au profit de l'azote non alimentaire et en définitive la valeur nutritive des matières azotées et, partant, la qualité va en diminuant.

La perte principale subie par les principes immédiats concerne le sucre. Elle est pour le sucre cristallisable :

Après deux mois.	de 12,5 °/₀
Après quatre mois.	27,0
Après six mois	44,6
Après huit mois.	90,3
Après onze mois.	97,7

On voit qu'elle est à la fois très rapide et très régulière. Si, dans la conservation prolongée, nous nous bornons à considérer les pertes subies seulement par les betteraves saines, nous trouvons encore que le sucre cristallisable disparu représente :

Après huit mois.	89,4 °/₀
Après onze mois.	94,8

tandis que les analyses du Dr Miller donnent :

Après douze mois	97,1 °/₀

De sorte que les betteraves qui, lors de leur mise en silo, contenaient 7,54 de sucre cristallisable pour 100, n'en contenaient plus que 0,80 après huit mois et 0,39 après onze mois. Le Dr Miller, de son côté, n'avait plus trouvé que 0,20 °/₀ de sucre sur 6,8 existant à l'origine.



Que devient tout ce sucre perdu?

D'après les analyses qui précèdent, il est facile de voir qu'une partie du saccharose passe à l'état de sucre interverti, tandis que l'autre partie est détruite plus ou moins complètement par combustion lente; il y a oxydation de la matière sucrée avec dégagement d'acide carbonique.

En réalité, la destruction des sucres ne va pas toujours jusqu'à disparition complète de la substance organique en gaz carbonique et en eau: une partie peut subir des fermentations qui modifient sa molécule, mais y laissent encore du carbone combiné à l'oxygène et à l'hydrogène.

On trouve plus de matières grasses dans les betteraves ensilées qu'elles n'en contenaient au début. Cette augmentation doit provenir de la transformation des matières sucrées. La respiration elle-même peut n'oxyder qu'une partie seulement du carbone du sucre. Enfin, le sucre a dû servir aussi à élaborer de la cellulose, puisque nous trouvons, tout au moins pour ce qui concerne la conservation normale, que la proportion de cette substance est devenue plus grande.

Ce qui prouve que la disparition des sucres n'est pas due à une simple oxydation par la respiration donnant lieu à leur destruction complète sous forme d'acide carbonique et d'eau, c'est que nous avons trouvé d'une manière générale que la perte en sucre était plus grande que la perte totale de matière sèche; nécessairement, une certaine quantité du sucre disparu avait laissé des résidus organiques.

Les glucoses retrouvés sont aussi nutritifs que le sucre lui-même. Il faut dès lors, pour apprécier exactement la dépréciation subie par les racines à cause de la destruction du sucre, calculer la perte réelle en considérant la totalité des matières sucrées.

Nous avons constaté de cette manière que la proportion de ces matières disparues était :

Après deux mois.	de 6,3 %
Après quatre mois.	15,0
Après six mois	26,6
Après huit mois.	56,7
Après onze mois.	87.1

Les betteraves restées saines avaient perdu pour leur propre compte :

Après huit mois.	52,5 %
Après onze mois	70,9
Après douze mois	85,5 (1)

Si nous calculons le poids de sucre ainsi perdu sur une récolte de 60 000 kilogr. de racines à l'hectare, nous trouvons, pour les différentes variétés, aux diverses époques de la conservation, les chiffres suivants :

Poids des matières sucrées perdues (calculées en glucose) pendant l'ensilage sur la récolte d'un hectare

Betteraves kirsch (quatre mois)	0,61 × 600 = 366 kg
— collet rose (quatre mois) . . .	1,37 × 600 = 822
— ovoïde des Barres (deux mois) .	0,51 × 600 = 306
— — (quatre mois).	1,21 × 600 = 726
— — (six mois) . .	2,14 × 600 = 1 284
— — (huit mois). .	4,22 × 600 = 2 532
— — (onze mois) .	5,70 × 600 = 3 420
— du Dr Miller (douze mois) . . .	6,41 × 600 = 3 846

De tels résultats suffisent pour prouver que la conservation des betteraves se fait aux dépens de leurs éléments nutritifs, principalement au détriment des sucres, et qu'on ne gagne rien à prolonger la durée de l'ensilage, puisque la valeur alimentaire des produits conservés décroît progressivement.

b) CONSERVATION DES BETTERAVES HACHÉES

De quelle manière se conservent les betteraves hachées ? Quelles sont les diverses transformations des principes immédiats des racines ensilées de cette manière ? Peu de travaux ont été faits, croyons-nous, sur ces importantes questions.

---

1. Analyses du Dr Miller.

Pour ce qui concerne la betterave à sucre, M. Pagnoul a montré, par des expériences qu'il fit en 1889, que les racines coupées perdent tout leur sucre par fermentation, dans l'espace de quatre mois (novembre à mars).

« Les betteraves coupées, dit M. Pagnoul en rendant compte de ses essais, paraissent subir une altération continue qui commence immédiatement après la section. Une petite portion de sucre doit se transformer d'abord en glucose, puis en alcool, puis en acide acétique et le passage à l'état de glucose doit durer plus ou moins de temps, suivant que les circonstances extérieures entravent ou favorisent la fermentation alcoolique. »

Expériences de Berthonval

Il y a lieu de rapporter ici les premières expériences faites à Berthonval.

Nous avons en effet expérimenté ce moyen de conservation sur les betteraves gelées provenant de la récolte de 1902. Les racines appartenant à la variété ovoïde des Barres avaient la composition suivante au moment de l'ensilage :

Eau	86,50
Matière sèche	13,50

La matière sèche se décomposait ainsi :

Matières azotées totales	0,9
Sucre	8,7
Cellulose	0,8
Cendres	1,3
Matières diverses	1,8

Les betteraves, divisées en cossettes, furent accumulées dans deux silos en mélange avec de menues pailles ; la conservation se poursuivit sans altération depuis le commencement de décembre jusqu'au 15 mars ; la matière ensilée fut employée à l'alimentation des vaches laitières.

Voici les résultats de l'ensilage :

Premier silo

Poids des betteraves ensilées.	34 000	kilogr.
Poids des menues pailles ensilées.	1 200	—
Total . . .	35 200	—
Poids du mélange utilisé après trois semaines . .	28 000	—

d'où une perte de 7 200 kilogr., soit 20 °/₀.

Deuxième silo

Poids des betteraves ensilées.	27 500	kilogr.
Poids des menues pailles ensilées	1 000	—
Total . . .	28 500	—
Poids du mélange utilisé après deux mois et demi.	14 930	—

d'où une perte de 13 570 kilogr., soit 47 °/₀.

Pour ce dernier silo, l'analyse d'un échantillon, après deux mois et demi d'ensilage, a donné :

Matières azotées	1,6
Sucre	0,9
Matière sèche totale.	22,0

dont il faut déduire 8 °/₀ de cendres terreuses, soit :

Matière sèche organique. . .	14,0

contre 12,2 à l'origine.

On voit que les pertes sont énormes : la matière azotée se retrouve à peu près, mais le sucre a disparu dans une très forte proportion. Le produit conservé est peut-être un peu meilleur parce qu'il renferme plus d'azote, mais les pertes de poids brut indiquent qu'il ne faut recourir à ce mode de conservation que dans le cas d'absolue nécessité. En trois semaines, en effet, la perte a atteint 20 °/₀ et au delà de deux mois elle s'est élevée à 47 °/₀.

En 1903-1904, nous avons repris ces expériences sur une plus

grande échelle. Nous avons expérimenté les betteraves idéale de kirsch et les betteraves collet rose dans plusieurs silos, en disposant, dans chacun d'eux, la même quantité de betteraves divisées en cossettes.

Nous avons fait entrer en comparaison les différentes conditions d'ensilage énumérées dans le tableau ci-après.

Ce tableau représente les variations du poids brut et les pertes de matière sèche que nous avons constatées après quatre mois d'ensilage.

Pertes de poids brut et de matière sèche

Afin de contrôler exactement les pertes et pour assurer un échantillon d'analyse aussi moyen et aussi homogène que possible, nous avions placé au milieu de chacun des silos un sac contenant 20 kilogr. de la matière ensilée.

Un échantillon conforme au contenu de ce sac fut prélevé au moment de l'analyse.

En raison du grand nombre de cas envisagés dans ces essais, nous avons été conduits à n'établir que des silos de petites dimensions, contenant seulement 4 000 kilogr. de betteraves.

Ils furent défaits en février 1904. Le sac échantillon pesé à nouveau permit d'évaluer les pertes de poids brut dans le cœur même de la masse, sans tenir compte des déchets existant sur les parois, déchets ordinairement d'autant plus importants que les silos sont plus petits.

La matière retrouvée dans ce sac servit aux analyses effectuées pour étudier les effets de la conservation.

Comme vérification, la perte subie par la masse totale ensilée fut également recherchée, elle fut dans tous les cas un peu supérieure à celle constatée par la pesée du sac échantillon, parce que sur les bords il y a toujours une altération plus marquée.

Comme toutes les déterminations qui sont rapportées ici furent opérées sur l'échantillon conservé au milieu du silo, et comme dans les parties environnant le sac, ainsi que dans le sac lui-même, les produits retrouvés présentaient partout les caractères normaux d'une

Détermination des pertes de poids brut et de matière sèche.

DÉSIGNATION DES SILOS	POIDS des matières ensilées	POIDS des matières retrouvées	PERTE		MATIÈRE SÈCHE pour cent		MATIÈRE SÈCHE				
			totale	répartie en totalité sur la betterave	fournie par la paille	fournie par la pulpe	ensilée	pour cent de matières retrouvées	restant pour cent de matières ensilées	Perte de matière sèche répartie sur le mélange total	Perte de matière sèche répartie en totalité sur les betteraves
Betterave idéale de kirsch.											
I. Betteraves entières.	1 000	1 002	+ 0,2	»	»	»	9,5	9,00	9,02	6,0	»
II. Betteraves en cossettes seules.	1 000	475	— 52,5	»	»	»	9,5	11,25	5,34	43,8	»
III. En cossettes avec 36 kilogr. pour mille de menues pailles.	1 036	570	— 45,0	50,5	3,0	9,2	12,2	12,40	6,82	44,1	58,5
Betterave blanche à collet rose.											
I. Betteraves entières.	1 000	1 000	»	»	»	»	13,3	12,1	12,10	9,0	»
II. Betteraves en cossettes seules.	1 000	820	18	»	»	»	13,3	10,5	8,61	35,3	»
III. En cossettes avec 36 kilogr. pour mille de menues pailles.	1 036	777	25	30,5	3,0	12,8	15,8	12,6	9,45	40,2	49,6
IV. En cossettes avec 80 kilogr. pour mille de menues pailles	1 080	810	25	32,5	6,2	12,2	18,4	15,9	11,93	35,1	53,0

Nota. — Le signe + indique un gain.

conservation régulière, on peut être assuré que les pertes que nous avons constatées, bien que considérables, ne sont nullement exagérées.

Il ne faut pas croire par exemple que si les silos avaient été plus volumineux, les pertes eussent été moindres, bien au contraire. Nous le prouverons pour ce qui concerne les pulpes, lesquelles nous ont donné dans le grand silo de la ferme des pertes plus élevées que dans nos petits silos d'expériences.

Les résultats du tableau précédent montrent que la matière sèche et par conséquent les substances nutritives des betteraves divisées en cossettes, subissent une perte très grande. Celle-ci augmente avec le degré d'humidité, elle est plus forte avec l'idéale de kirsch qu'avec la collet rose. Cela tient à ce que la première renferme un jus plus aqueux et plus abondant qui, en s'infiltrant à travers le silo, va se perdre dans le sol.

Emploi des menues pailles

Pour retenir ce jus, on est conduit à additionner les cossettes de menues pailles. On peut penser que ces résidus absorbent le liquide qui tend à s'échapper du silo, cela a lieu, en effet, puisque les pertes de poids se restreignent : 36 kilogr. de menue paille, ajoutés à la betterave kirsch, très juteuse, ont réduit la perte à 45 °/₀ au lieu de 52,50 °/₀. Pour la collet rose, beaucoup plus riche en matière sèche, les menues pailles étaient moins nécessaires puisqu'elles ont donné lieu à une diminution du poids un peu plus grande (25 °/₀ au lieu de 18 °/₀). En tout cas, la perte ne paraissait pas encore très élevée ; nous disons : ne paraît pas, car, en réalité, la perte de poids brut cache la perte en matière sèche, la seule qui soit importante au point de vue pratique ; lorsqu'on détermine celle-ci, on est mieux renseigné sur le rôle des menues pailles introduites dans la masse ensilée.

Les chiffres du tableau précédent montrent que, dans n'importe quelle condition, la conservation s'est traduite par une perte, après quatre mois, de plus du tiers de la matière sèche pour les betteraves hachées. Que faut-il penser de cette idée que le hachage des bette-

raves permet d'en faire durer la conservation jusqu'aux premiers mois de l'été ? Si l'on admet que l'on ajoute aux betteraves assez de menues pailles pour absorber tout le jus, la perte de matière sèche doit surtout avoir lieu sous forme de composés gazeux que toutes les menues pailles ne sauraient retenir. Ces gaz sont le résultat des fermentations.

Or les silos ont été défaits en février ; combien de matière sèche aurions-nous retrouvée si on avait prolongé l'ensilage jusqu'en mai ou juin, la fermentation se trouvant alors favorisée par une température plus élevée ?

Quelle que soit par conséquent la supériorité de la betterave ensilée en cossettes (supériorité qu'il s'agit de déterminer), elle ne peut suffire pour compenser les pertes qui se produisent pendant la conservation, et il est bien préférable d'ensiler les racines entières.

Il est vraisemblable, et d'ailleurs nous le montrerons plus loin pour les silos de pulpe, que la menue paille ne subit pas de modification sensible dans le mélange où on l'incorpore ; sa matière sèche ne s'altère pas visiblement ; on la retrouve intacte, sans transformation apparente.

Ceci étant admis, la betterave seule s'est modifiée par la fermentation, et c'est elle qui a dû supporter toutes les pertes en matière sèche. Ayant analysé au début de l'expérience la menue paille qui devait être incorporée aux betteraves, il nous était facile de calculer, dans la matière sèche de l'ensilage, la proportion pour cent de celle fournie seulement par la betterave et dès lors d'en déduire la portion véritable que les betteraves avaient perdue.

Les résultats figurent dans le tableau ci-après ; ils démontrent que les menues pailles, au lieu de diminuer la perte en matière sèche, l'augmentent. Elle est même d'autant plus élevée que l'on a incorporé plus de ces résidus dans le mélange.

L'influence nuisible des matières absorbantes ajoutées aux betteraves ne peut s'expliquer que par la porosité qu'elles donnent à la masse ensilée, ce qui a pour effet d'activer son oxydation et sa décomposition.

On comprend facilement pourquoi le cultivateur est amené à additionner de menues pailles ses pulpes ou ses cossettes ; la perte totale

Composition de la matière sèche.

Éléments dosés	Betterave idéale de Kirsch						Betterave blanche à sucre à collet rose							
	Betteraves entières		En cossettes				Betteraves entières		En cossettes					
			Seules		Avec 36 kilogr. °/oo de menue paille				Seules		Avec 36 kilogr. °/oo de menue paille.		Avec 80 kilogr. °/oo de menue paille.	
	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage
Matières azotées	8,00	8,10	8,00	7,40	7,90	7,90	7,30	7,20	7 30	10,90	7,40	9,20	7,90	8,60
Matières grasses	0,80	1,60	0,80	2,30	1,00	1,80	0,70	0,80	0,70	1,20	0,90	1,80	0,90	2,50
Hydrates de carbone en glucose	55,50	51,60	55,50	23,80	48,70	32,90	67,50	62,90	67,50	28,50	59,00	27,00	55,20	29,30
Autres extractifs non azotés	11,60	11,90	11,60	32,10	11,80	10,00	3,90	4,30	3,90	29,60	5,80	21,60	6,50	13,20
Fibre ou cellulose	9,00	10,60	9,00	11,40	18,50	20,90	7,10	9,70	7,10	10,70	11,50	16,70	14,80	18,70
Matières minérales	15,10	16,20	15,10	23,00	17,10	26,50	13,50	15,10	13,50	19,10	15,40	23,70	14,70	22,70
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Azote organique total	1,280	1,290	1,280	1,190	1,260	1,260	1,160	1,150	1,160	1,740	1,190	1,470	1,260	1,370
Azote alimentaire	1,030	0,630	1,030	0,790	0,980	1,050	0,600	0,630	0,600	0,810	0,670	1,030	0,690	0,860
Azote non alimentaire	0,250	0,660	0,250	0,400	0,280	0,210	0,560	0,520	0,560	0,930	0,520	0,440	0,570	0,510
Azote nitrique	0,422	0,385	0,422	0,170	0,301	Traces	0,292	0,201	0,292	0,128	0,229	0,101	0,201	0,143

se trouve ainsi fortement diminuée. La masse ensilée, par suite de l'emploi de menues pailles ou de débris analogues, est plus grande. Comme le cultivateur ne fait pas de dosages, il s'en rapporte à l'observation directe. Il ne se rend pas compte que la matière retirée du silo est beaucoup moins riche en matière sèche. Jusqu'ici, presque tout le monde s'y est trompé, et nous-mêmes, nous n'avons pas été peu surpris de voir que, loin d'être utiles à la conservation, les menues pailles lui étaient défavorables.

Composition comparée des produits avant et après l'ensilage

Tous les échantillons de betteraves hachées, mélangées ou non de menue paille, ont été analysés. Nous avons dosé l'acidité sur la matière humide naturelle et toutes les autres déterminations ont été faites sur la matière sèche préparée par dessiccation à l'étuve.

Connaissant la matière sèche trouvée pour chacun des cas, nous avons rétabli par le calcul la composition de la substance naturelle non desséchée. Le tableau ci-après résume les résultats.

Pendant leur séjour au silo, les cossettes de betteraves kirsch n'ont pas gagné beaucoup en qualité ; la proportion plus élevée de matière sèche renfermée dans la substance retrouvée concerne surtout les matières indéterminées, la faible augmentation de l'azote total étant contre-balancée par la diminution de la protéine.

Au contraire et quoique la digestibilité des éléments nutritifs ait pu augmenter, il y a plutôt une diminution dans la qualité de l'aliment en raison de la perte des sucres.

Nous avons déjà dit d'ailleurs que la digestibilité des betteraves fraîches étant elle-même très élevée, toute amélioration à ce point de vue doit être considérée comme de faible importance.

Rien n'indique non plus que les cossettes de betteraves roses ensilées seules se soient améliorées ; il y a bien comme pour les betteraves de kirsch disparition de la moitié des nitrates et une légère augmentation de l'azote alimentaire ; mais la teneur en matière sèche est fortement diminuée et une grande partie des sucres a disparu.

Composition des matières ensilées à l'état humide.

ÉLÉMENTS DOSÉS	BETTERAVE IDÉALE DE KIRSCH						BETTERAVE A SUCRE A COLLET ROSE							
	Entières		En cossettes seules		En cossettes avec 36 kilogr. °/oo de menues paille		Entières		En cossettes seules		En cossettes avec 36 kilogr. °/oo de menues paille		En cossettes avec 80 kilogr. °/oo de menues paille	
	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage	A l'ensilage	Après l'ensilage
Eau et matières volatiles	90,50	91,00	90,50	88,70	87,80	87,60	86,70	87,90	86,70	89,50	84,20	87,40	81,60	84,10
Matières azotées organiques	0,76	0,73	0,76	0,84	0,96	0,98	0,96	0,87	0,96	1,14	1,18	1,16	1,45	1,36
Matières grasses	0,08	0,14	0,08	0,26	0,12	0,22	0,09	0,10	0,09	0,13	0,14	0,23	0,17	0,40
Hydrates de carbone en glucose	5,26	4,64	5,26	2,69	5,94	4,08	8,98	7,61	8,98	2,99	9,32	3,40	10,16	4,66
Autres extractifs non azotés	1,11	1,07	1,11	3,62	1,44	1,25	0,53	0,52	0,53	3,11	0,91	2,72	1,20	2,90
Cellulose	0,85	0,96	0,85	1,29	1,65	2,59	0,94	1,17	0,94	1,12	1,82	2,10	2,72	2,97
Matières minérales	1,44	1,46	1,44	2,60	2,09	3,28	1,80	1,83	1,80	2,01	2,43	2,99	2,70	3,61
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Matière sèche	9,5	9,0	9,5	11,3	12,2	12,4	13,3	12,1	13,3	10,5	15,8	12,6	18,4	15,9
Acidité	»	»		0,89		0,05	»	»	»	0,47	»	0,05	»	1,34
Azote organique total	0,122	0,116	0,122	0,134	0,154	0,156	0,154	0,149	0,154	0,183	0,188	0,185	0,232	0,218
Azote alimentaire	0,098	0,057	0,098	0,089	0,120	0,130	0,080	0,076	0,080	0,085	0,106	0,130	0,127	0,137
Azote non alimentaire	0,024	0,059	0,024	0,045	0,084	0,026	0,074	0,063	0,074	0,098	0,082	0,055	0,105	0,081
Azote nitrique	0,040	0,035	0,040	0,019	0,037	traces	0,039	0,026	0,039	0,013	0,036	0,013	0,037	0,023

Quant au mélange de menue paille avec les cossettes, en raison de l'eau retenue, il est beaucoup plus aqueux qu'à l'ensilage et, à part une légère augmentation de l'azote alimentaire, il ne paraît pas devoir être beaucoup plus nutritif. Il y a d'ailleurs une forte perte d'hydrates de carbone qui porte surtout sur les matières sucrées.

Donc, même sans tenir compte des pertes de matières sèches, qui sont énormes, le procédé n'est pas avantageux, puisque la matière retrouvée n'est pas meilleure que la matière qu'on avait ensilée.

Or, nous avons à faire entrer en ligne, pour apprécier la valeur économique de ces différents systèmes de conservation des betteraves hachées par ensilage, les pertes que subissent les éléments constitutifs.

L'augmentation de qualité des produits retrouvés n'étant pas apparente et les pertes de matière sèche étant considérables, ce mode de conservation doit être rejeté toutes les fois qu'on pourra faire autrement.

Répartition des pertes de matière sèche

Comme pour les betteraves entières, nous avons déterminé par le calcul les pertes pour cent de chacune des parties constitutives. Le tableau suivant résume les résultats obtenus.

Ce tableau montre combien la conservation des betteraves hachées est défectueuse. Alors que pour les betteraves entières, les pertes en sucre s'élèvent, après quatre mois, à 14 %, elles atteignent 70 % pour les betteraves hachées.

La cellulose, qui augmente plutôt pendant la conservation des betteraves entières, est également attaquée dans les betteraves coupées, et la partie la plus digestive est justement celle qui disparaît pendant la fermentation.

Devant ces résultats, il est juste de conclure que l'addition de menues pailles n'a nullement pour effet de diminuer les pertes ; on remarque plutôt qu'elles agissent défavorablement et que plus on en met, plus elles appauvrissent les betteraves en éléments nutritifs.



Détermination des pertes pour cent de chaque partie constitutive de la betterave constatées après quatre mois d'ensilage

ÉLÉMENTS DOSÉS	PERTES pour cent relevées pour les betteraves entières		COSSETTES Kirsch			COSSETTES collet rose			COSSETTES KIRSCH avec 36 kilogr. de menue paille pour mille				COSSETTES COLLET ROSE avec 36 kilogr. de menue paille pour mille				COSSETTES COLLET ROSE avec 80 kilogr. de menue paille pour mille			
											Perte pour cent répartie				Perte pour cent répartie				Perte pour cent répartie	
	Kirsch	Collet rose	à l'ensilage	après l'ensilage	perte pour cent	à l'ensilage	après l'ensilage	perte pour cent	à l'ensilage	après l'ensilage	sur la totalité	sur la betterave seulement	à l'ensilage	après l'ensilage	sur la totalité	sur la betterave seulement	à l'ensilage	après l'ensilage	sur la totalité	sur la betterave seulement
Matière sèche	6,0	9,0	9,5	5,34	43,8	13,3	8,61	35,3	12,2	6,2	44,1	58,5	15,8	9,45	40,2	49,6	18,4	11,93	35,1	53,0
Matières azotées totales	5,3	9,4	0,76	0,40	47,4	0,96	0,93	3,1	0,96	0,51	43,75	56,8	1,18	0,87	26,3	33,3	1,45	1,02	29,6	48,9
Azote alimentaire	41,8	5,0	0,098	0,042	57,1	0,080	0,070	12,5	0,120	0,072	40,0	50,5	0,106	0,098	7,5	10,4	0,127	0,103	18,9	32,9
Azote non alimentaire	»	»	0,024	0,021	»	0,074	0,080	»	0,034	0,014	»	»	0,082	0,041	»	»	0,105	0,061	»	»
Azote nitrique	»	»	0,040	0,009	»	0,039	0,011	»	0,037	traces	»	»	0,036	0,010	»	»	0,037	0,017	»	»
Matières grasses	»	»	0,08	0,12	»	0,09	0,11	»	0,12	0,12	»	»	0,11	0,17	»	»	0,17	0,30	»	»
Matières minérales	»	»	1,44	1,23	14,6	1,80	1,65	8,3	2,09	1,80	13,9	»	2,43	2,24	7,8	»	2,70	2,71	»	»
Hydrates de carbone en glucose	11,6	15,3	5,26	1,28	75,7	8,98	2,45	72,7	5,94	2,24	62,3	72,5	9,32	2,55	72.6	78,4	10,16	2,50	65,6	80,8
Cellulose	12,9	24,5	0,85	0,61	28,2	0,94	0,92	2,1	1,65	1,42	13,9	27,7	1,82	1,58	13,2	26,4	2,72	2,23	18,0	56,3

Dans les cossettes ensilées seules, les pertes sont moindres, mais elles sont encore bien supérieures à celles qui se produisent dans l'ensilage des betteraves entières.

Nous ne pensons donc pas que l'ensilage des betteraves hachées soit appelé à une grande extension. A moins qu'on ne veuille réaliser une conservation très prolongée, ce dont on ne voit pas bien l'utilité, il est bien préférable de s'en tenir à la méthode ordinaire d'ensilage des racines entières.

Il y a lieu également de faire une exception pour le cas où la récolte est compromise par les gelées. La mise en silo des racines, préalablement divisées en cossettes, est alors le seul moyen de conservation auquel on puisse avoir recours, car, lorsqu'elles sont ainsi altérées, elles pourrissent dans les silos et déterminent la putréfaction de celles qui sont saines. La matière ensilée dans ces conditions doit être consommée aussi rapidement que possible, puisque plus on attend, plus les pertes de sucre et de matière sèche sont considérables.

II. — CONSERVATION DES PULPES

La conservation des pulpes présente une réelle importance, en raison de la grande quantité de ces résidus industriels que la sucrerie livre chaque année à l'agriculture.

Les pulpes proviennent du traitement des cossettes de betterave dans les diffuseurs en vue de l'extraction du sucre. Étant donné que la diffusion se fait à la température d'au moins 75°, beaucoup de matières organiques se trouvent coagulées, de sorte que ces résidus d'épuisement renferment encore, à part le sucre, à peu près tous les éléments nutritifs de la betterave elle-même.

Mais les cossettes sortant des diffuseurs sont gorgées d'eau : elles en renferment environ 94 à 95 °/₀. Sous cette forme, elles ne seraient pas transportables, et elles constitueraient, d'ailleurs, un aliment de bien médiocre qualité si on n'en n'exprimait pas par pression une grande quantité du liquide qui les imprègne ; la pulpe ainsi pressée contient encore environ 90 °/₀ d'humidité.



Composition de la pulpe

M. Pagnoul a publié, en 1883, une étude très documentée sur les pulpes de betterave obtenues par pression ou par diffusion. Ce savant constatait, alors, que la matière azotée que l'on trouve dans la pulpe de diffusion est beaucoup plus nutritive que celle des pulpes de presse hydraulique, attendu que dans les premières les traitements par l'eau chaude ont dû coaguler les matières albumineuses et enlever la plus grande partie de l'azote soluble existant sous forme nitrique ou ammoniacale.

Déjà, à cette époque, M. Pagnoul faisait remarquer que, pour déterminer exactement la valeur nutritive, et par suite la valeur commerciale des pulpes, il était nécessaire de bien connaître leur richesse en matières alimentaires et de tenir compte, en outre, de la proportion d'eau qui affaiblit les propriétés nutritives et augmente les frais de transport. Pour éviter la complication d'une analyse détaillée, il proposait de prendre pour base le poids de matière sèche totale.

Au moment de l'ensilage, les pulpes renferment encore une petite quantité de sucre. Ce sucre est susceptible de jouer un rôle comme substance alimentaire, il serait juste d'en tenir compte si la pulpe n'était employée qu'à l'état frais, mais on n'utilise la pulpe généralement qu'après un séjour plus ou moins prolongé en silo, alors que le sucre a entièrement disparu. L'alcool qui résulte de la fermentation du sucre se perd lui-même ou se transforme en acide acétique, lequel d'ailleurs ne paraît pas provenir seulement de la fermentation du sucre, car il existe en quantité à peu près égale dans les pulpes de presse hydraulique et dans celle de diffusion.

La composition des pulpes est assez variable, surtout en ce qui concerne la matière sèche. Les fabricants de sucre auraient tout intérêt à vendre des pulpes très aqueuses si la culture voulait les accepter. On a parlé de fixer une limite de 12 °/₀ de matière sèche, au-dessous de laquelle les pulpes ne seraient plus considérées comme marchandes ; ce chiffre est trop fort, il faut envisager que dans certaines fabriques, à cause des défectuosités d'installation, on est obligé

d'élever la température de la diffusion jusqu'à 85°, quelquefois 88°, pour arriver à un épuisement convenable des cossettes. Or, celles-ci, étant très cuites, se pressent mal et renferment toujours une proportion d'eau relativement considérable.

Méthodes d'ensilage

Ordinairement, c'est au fur et à mesure des livraisons de betteraves que les cultivateurs enlèvent les pulpes de la fabrique. Celles-ci sont alors mises en silo pour y être conservées, afin de servir à l'alimentation du bétail pendant l'hiver ; une faible quantité seulement est consommée au début de la campagne sucrière.

Les silos se présentent soit sous forme de tranchées plus ou moins profondes creusées directement dans le sol, soit sous forme de constructions en maçonnerie entourées de murs de hauteur variable. D'autres silos, beaucoup plus simples, sont confectionnés en accumulant en tas, sur la terre nue, la pulpe, qui est alors piétinée et disposée en dos d'âne. Dans tous les cas, un silo doit être recouvert de terre bien tassée, pour éviter l'accès de l'air, et présenter une pente suffisante pour assurer l'écoulement de l'eau que la pression chasse de la pulpe. Cette dernière entre en fermentation très active, au bout de quelques jours son volume diminue, les cellules des cossettes se désagrègent peu à peu, toute la masse se transforme en une pâte homogène et très blanche, si la conservation s'est faite dans de bonnes conditions.

Expériences de Gay à Grignon

Les pulpes ensilées subissent des pertes plus ou moins grandes. On les évalue approximativement :

	POIDS BRUT
Après un mois	de 15 à 20 °/°
— deux mois	20 à 25
— trois mois	25 à 30
— quatre mois.	30 à 35
— cinq mois	35 à 40

Ces pertes paraissent s'expliquer à première vue par la quantité d'eau considérable qui sort des silos, et l'on est amené à supposer que, si l'eau disparaît ainsi de la pulpe, celle-ci doit s'enrichir proportionnellement en matière sèche, et son prix de revient final ne doit que fort peu varier. Ce serait une erreur de penser ainsi, car l'analyse montre que, pendant l'ensilage, les pulpes subissent des pertes en principes immédiats qui sont loin d'être négligeables. Voici les résultats constatés par Gay, à Grignon, il y a quelques années :

	EAU	MATIÈRE sèche	PROTÉINE	EXTRAIT éthéré	EXTRACTIFS non azotés	CELLULOSE	CENDRES
Pulpe fraîche.	91,12	8,88	0,77	0,10	5,70	1,32	0,99
Pulpe ensilée.	91,92	8,08	0,83	0,15	4,95	1,63	0,52

Tandis que la pulpe fraîche accusait 8,88 °/₀ de matière sèche, la pulpe ensilée, bien qu'ayant déjà perdu une grande partie de son eau, n'en renfermait plus que 8,08.

« Voilà assurément, dit Gay, un résultat auquel on était bien loin de s'attendre et qui semblerait bizarre si on ne réfléchissait pas aux modifications profondes subies par la pulpe pendant la fermentation. Cette fermentation transforme en effet les hydrates de carbone en acide carbonique et en alcool, elle rend soluble en outre une grande partie des extractifs et des matières albuminoïdes; si on songe enfin aux dégagements d'acides organiques volatils et de gaz qui accompagnent toujours toute fermentation, on ne sera plus étonné de voir dans quelle proportion la matière sèche, et par conséquent les principes immédiats qui la constituent, diminuent dans la pulpe ensilée. Il était intéressant de déterminer la quantité de ces principes ainsi disparus; les résultats sont consignés dans le tableau ci-après.

« Comme on le voit, tous les principes immédiats n'ont pas eu à subir la même influence de la fermentation, ce sont les matières minérales pour lesquelles la perte a été la plus élevée : 64 °/₀ de leur poids total; puis viennent, par ordre, les extractifs non azotés avec

42 °/₀, la protéine avec 28 °/₀, puis la cellulose avec 17 °/₀, enfin l'extractif éthéré avec 5 °/₀ seulement. »

	EAU	MATIÈRE sèche	PROTÉINE	EXTRAIT éthéré	EXTRACTIFS non azotés	CELLULOSE	CENDRES
11 710 kilogr. de pulpe fraîche renferment. . . . . kg.	10 670	1 079	90,1	12,3	666	154,5	115,9
7 805 kilogr. de pulpe ensilée contiennent. . . . kg.	7 174	630	64,8	11,7	386	127,2	40,6
Pertes dues à l'ensilage. kg.	3 496	449	25,3	0,6	280	27,3	75,3
Pertes . . . . °/₀	33	3	28	5	42	17	64

Et Gay ajoute :

« C'est pour l'agriculteur une grande perte, à laquelle, étant donnée la connaissance de ces faits, il y aurait peut-être lieu de remédier dans la mesure du possible. Par quel moyen pourrait-on arriver à ce résultat? Nous venons de voir qu'une partie des principes immédiats, après leur transformation pendant la fermentation, s'étaient dégagés dans l'atmosphère sous forme de produits gazeux. C'est là une perte contre laquelle nous ne pouvons absolument rien et qu'il est impossible d'éviter ; mais peut-être n'est-ce pas la plus considérable. L'écoulement constant de l'eau qui s'échappe de la pulpe constitue, croyons-nous, la principale cause de la déperdition, or il existe un moyen fort simple de l'éviter.

« On sait qu'il existe dans les fermes des sous-produits fournis par le battage des céréales, que l'on nomme plus communément menues pailles, glumelles, balles, etc. Ces sous-produits n'ont aucune valeur commerciale et sont employés dans l'alimentation du bétail, qui peut les utiliser mêlés à d'autres aliments.

« Si on mêlait une quantité suffisante à la pulpe encore fraîche, aussitôt son arrivée à la ferme et lors de la mise en silo, ces menues pailles s'empareraient d'une grande quantité de l'eau mise en liberté, ce qui diminuerait dans une large mesure la perte que nous avons constatée. On peut procéder, dans ce cas, en disposant la pulpe et les

balles par lits alternatifs et en ayant soin de commencer par ces dernières et d'en étaler sur le sol une couche assez épaisse.

« C'est là une méthode que nous avons vu employer dans quelques cas et qui a l'avantage de n'exiger aucun frais supplémentaire ; aussi ne saurions-nous trop la recommander, parce que l'agriculteur y trouvera un très grand profit. Ce mélange fait dans des proportions convenables, environ 10 kilogr. de menue paille pour 90 kilogr. de pulpes, présente en outre un avantage considérable sur lequel nous voulons appeler l'attention .

« Les balles, en effet, le foin grossier ou la paille hachée, ne possèdent qu'une valeur nutritive très faible à leur état normal, non pas par suite d'une grande pauvreté en principes immédiats, mais parce que ces principes immédiats sont englobés dans une matière dure, coriace, riche en cellulose, qui se laisse très difficilement attaquer par les sucs digestifs.

« Sous l'action physique du mélange avec la pulpe et de la fermentation qui se produit dans la masse, la cellulose se ramollit, laisse plus facilement attaquer les principes immédiats nutritifs par l'appareil digestif des animaux, si bien que le coefficient de digestibilité de ces matières, de valeur primitive faible, augmente du simple au double. C'est là un résultat appréciable, qui ne doit pas être dédaigné, et qui ne peut qu'encourager l'agriculteur de mettre dorénavant en pratique la méthode que nous venons de lui conseiller. »

Le travail de Gay est extrêmement intéressant et, si nous en avons reproduit textuellement les conclusions, c'est parce qu'elles sont conformes à l'opinion généralement admise par les agriculteurs pour la conservation des pulpes ; c'est celle que nous professions avant d'entreprendre nos essais. On verra, par les résultats que nous avons trouvés, que nous avons dû à ce sujet modifier cette manière de voir.

Expériences de Berthonval. Disposition des recherches

Parallèlement à l'étude de la conservation des betteraves, nous avions en vue en effet celle de la conservation des pulpes, et les expériences ont été menées de front avec les premières.

Nos premières recherches, faites en 1903-1904, ont porté sur de

Détermination de la perte de poids brut et de la perte en matière sèche.

DÉSIGNATION DES SILOS	DURÉE de l'ensilage	QUANTITÉ de matière ensilée	POIDS de matière retrouvée	PERTE pour cent de poids brut	MATIÈRE SÈCHE POUR CENT ensilée	MATIÈRE SÈCHE POUR CENT de matière retrouvée	MATIÈRE SÈCHE POUR CENT restant sûr 100 kilog. de matière ensilée	PERTE POUR CENT de la matière sèche sur la masse ensilée	PERTE POUR CENT de la matière sèche répartie sur la pulpe seulement
		kilogr.	kilogr.						
1903-1904. Pulpes ensilées seules	4 mois (oct.-févr.).	1 000	855	19,5	10,2	9,8	7,89	22,6	22,6
1904-1905. Pulpes ensilées seules	2 mois (nov.-janv.).	1 000	760	24 »	8,6	9,3	7,07	17,8	17,8
1901-1905. Pulpes ensilées seules	4 mois (nov.-mars).	1 000	830	17 »	8,6	8,5	7,06	17,9	17,9
1904-1905. Pulpes ensilées seules	6 mois (nov.-mai).	1 000	625	37,5	8,6	11,0	6,87	20,0	20,0
1904-1905. Pulpes ensilées seules	8 mois (nov.-juil.).	1 000	575	42,5	8,6	10,3	5,92	31,2	31,2
1903-1904. Pulpes stratifiées avec des menues pailles	4 mois (oct.-févr.).	1 000	380	62 »	9,0	14,9	5,66	37,1	37,1
1903-1904. Pulpes additionnées de 115 kilogr. de débris de fenil	4 mois (oct.-févr.).	1 115	770	31 »	17,5	21,1	14,56	16,8	33,9
1903-1904. Pulpes additionnées de 61 kilogr. de menue paille	4 mois (oct.-févr.).	1 061	840	20,5	14,5	15,3	12,17	16,6	25,1
1904-1905. Pulpes additionnées de 100 kilogr. de menue paille	4 mois (oct.-févr.).	1 100	630	42,5	17,1	17,1	9,83	35,3	68,8

la pulpe contenue dans quatre silos différents. Le premier, d'assez grandes dimensions, contenait toute la pulpe achetée pour l'alimentation du bétail de la ferme de Berthonval. Nous avions disposé au milieu de la masse un sac-échantillon de 50 kilogr.; toute cette pulpe était stratifiée avec de la menue paille. Les trois autres étaient de plus faibles dimensions et renfermaient : le premier de la pulpe seule, le second de la pulpe en mélange intime avec 61 °/₀₀ de menue paille, le troisième de la pulpe mélangée à des débris de foin dont la proportion en poids était de 115 °/₀₀.

Au moment de l'ensilage, toute la pulpe fut tassée et piétinée aussi fortement que possible. Pendant le remplissage des sacs d'échantillon, nous avons prélevé la quantité suffisante de matière pour effectuer les analyses, afin d'en connaître la composition à l'origine.

Cet ensilage dura quatre mois. En fin février, les silos furent défaits et les sacs, pesés à nouveau pour en déduire la perte de poids brut, fournirent des échantillons destinés à une seconde analyse.

De nouveaux essais, dont les résultats étaient destinés à compléter nos premières observations, furent entrepris en 1904-1905, sur cinq silos semblables séparés. Les quatre premiers renfermaient de la pulpe seule qui devait être enlevée après deux, quatre, six et huit mois de conservation, le cinquième de la pulpe mélangée de menue paille dans la proportion de 10 °/₀ en poids.

Les échantillons furent toujours obtenus de la même manière, en disposant un sac contenant 20 kilogr. de substance parmi la masse ensilée. Tous les silos après un tassement régulier furent recouverts d'une couche de terre de 30 centimètres d'épaisseur environ.

Des analyses furent également faites au début pour connaître la composition de la pulpe à l'origine ainsi que celle de la menue paille. Rien d'anormal ne s'est produit pendant la conservation.

Nous indiquons dans le tableau ci-dessus les résultats obtenus en déterminant les pertes de poids brut et la perte en matière sèche.

Pertes de poids brut et de matière sèche

On peut constater que la perte de poids brut n'est pas toujours en rapport avec la perte réelle des substances nutritives portant sur la

matière sèche. Ces pertes sont très variables, elles doivent dépendre d'un certain nombre de causes différentes, comme le degré d'humidité de la pulpe, la température à laquelle elle a été traitée dans la batterie de diffusion, le temps depuis lequel elle est sortie des diffuseurs, la température extérieure, la fréquence et l'abondance des pluies. La nature des fermentations spontanées doit aussi avoir une influence prépondérante.

Pour les silos défaits cette année, par exemple, nous trouvons, au bout de deux mois, une perte brute de 25 °/₀, tandis qu'elle n'est plus que de 17 °/₀ après quatre mois. Cela tient peut-être à cette coïncidence que pendant les deux premiers mois qui ont suivi l'ensilage, le temps est resté relativement sec, tandis que dans la première quinzaine de mars, il s'est produit quelques pluies assez fortes, particulièrement deux ou trois jours avant l'ouverture du silo. Les pulpes ont pu reprendre ainsi une certaine quantité d'eau, la pluie s'étant infiltrée jusqu'à elles, à travers la couche de terre qui les recouvrait. Leur faible teneur en matière sèche rend vraisemblable cette manière de voir.

Au bout de deux mois, la perte brute est déjà de 20 °/₀ du poids total de l'ensilage ; elle peut rester voisine de ce chiffre jusqu'au quatrième mois, mais, pour une durée plus longue, après une période de temps sans pluie bien importante, nous avons trouvé une diminution beaucoup plus grande dans le silo. Elle atteignait 37,5 °/₀ du poids brut après six mois et 42,5 après huit mois.

Si on envisage les pertes de matière sèche, qui sont du reste beaucoup plus importantes à considérer que la perte de poids brut, on constate qu'elles n'ont pas varié énormément. Après deux mois, comme après quatre et six mois, elles sont voisines de 20 °/₀. Pendant les mois d'été, les fermentations sont favorisées par la température et les pertes s'élèvent. Nous avons constaté après huit mois une perte de 31 °/₀ de matière sèche ; elle s'est donc accrue de plus de 10 °/₀ dans les deux derniers mois. Ces chiffres sont inférieurs à ceux de Gay, qui a constaté 38 °/₀ de perte en matière sèche dans un silo contenant plus de 10 000 kilogr. de pulpes.

Dans le grand silo de la ferme, où la masse ensilée était importante (62 000 kilogr.), nous n'avons plus retrouvé, sur un échan-



tillon de 50 kilogr., que 19 kilogr., ce qui fait une diminution de poids brut de 62 °/₀ dans l'espace de quatre mois.

Cette pulpe y était stratifiée avec de menues pailles : on comprend qu'une partie de l'eau gorgeant la pulpe a dû la quitter pour passer dans la menue paille. La meilleure preuve est fournie par ce fait que la pulpe retrouvée accusait une richesse en matière sèche de 14,9 °/₀, chiffre très élevé.

Rôle des menues pailles

Lorsqu'on adopte ce système de conservation, la menue paille draine pour ainsi dire la masse, la pulpe tassée et pressée par son propre poids subit une sorte d'égouttage continuel, elle perd de l'eau et celle-ci passe dans la menue paille. Y reste-t-elle ? et, si elle est retenue, que deviennent les éléments nutritifs de la pulpe qu'elle a entrainés avec elle? C'est ce que nous discuterons un peu plus loin. Dans tous les cas, ce système d'ensilage appauvrit la pulpe de 31,7 °/₀ de matière sèche en quatre mois.

Pour le silo suivant, malgré l'addition de 115^{kg},5 de déchets de fenil par 1 000 kilogr. de pulpe, la perte brute est encore plus élevée que celle des pulpes conservées seules pendant le même temps ; elle atteint 31 °/₀.

Il en est de même avec 61 kilogr. de menues pailles pour 1 000 kilogr. de pulpe, mais la différence est moins marquée ; les pertes de poids brut s'élevaient à 20,5 °/₀ au lieu de 19,5 °/₀ pour la pulpe ensilée seule. La proportion de menues pailles représente à peu près la dose qu'on a l'habitude d'employer dans la région du Nord.

On a lu plus haut que Gay recommandait d'incorporer à la pulpe 10 kilogr. de menues pailles pour 90 kilogr. de pulpes. Nous avons voulu nous rendre compte, si, en employant une aussi forte proportion de déchets, nous réussirions à diminuer les pertes. Nous avons pu comparer d'une part 1 000 kilogr. de pulpe conservée seule, et, d'autre part, un mélange de 1 000 kilogr. de pulpe avec 100 kilogr. de menue paille. Après six mois de conservation, nous avons défait les silos et nous sommes arrivés à des résultats absolument surprenants.

Tandis que la pulpe ensilée seule accusait une perte brute de 37,5 °/₀, la pulpe avec menues pailles, malgré la forte quantité d'eau qui devait être retenue, avait perdu 42,5 °/₀ de son poids.

Si nous calculons la perte de matière sèche supportée par le mélange de la pulpe avec diverses matières absorbantes, nous trouvons les chiffres suivants :

1903-1904 Après 4 mois (octobre - février)	Pulpes seules	22,6 °/₀
	Pulpe et 61 kilogr. de menues pailles °/₀₀	16,6
	Pulpe et 115^{kg},5 de fleurs de foin °/₀₀.	16,8
1904-1905 Après 6 mois (novembre - mai)	Pulpes seules	20,0
	Pulpes avec 100 kilogr. de menues pailles °/₀₀	35,8

Il semble d'abord qu'en ne dépassant pas une certaine limite, les matières ajoutées à la pulpe n'augmentent pas sensiblement la perte de matière sèche.

Ce n'est pourtant qu'une apparence, car le pourcentage de la matière sèche dans les différents silos est donné pour l'ensemble de la substance.

Dans le mélange, la matière des déchets incorporés à la pulpe ne se détruit pas d'une manière sensible, et pour évaluer la perte réelle d'une façon exacte, il faut la calculer comme il est indiqué dans le tableau ci-dessous.

Pourcentage des pertes de substance ensilée au début

SILOS	QUANTITÉ de matière sèche ensilée	MATIÈRE sèche restante	PERTE de matière sèche	MATIÈRE SÈCHE fournie par les pulpes	par les menues pailles	PERTE pour cent de matière sèche répartie en totalité sur la pulpe
Pulpes et 61 kilogr. de menues pailles pour mille . .	14,6	12,17	2,43	9,7	4,9	25,1
Pulpes et fleur de foin : 115^{kg},5 °/₀₀	17,5	14,56	2,94	9,1	8,4	32,9
Pulpes et menues pailles : 100 kilogr. °/₀₀.	15,2	9,83	5,37	7,8	7,6	68,8

Ces chiffres établissent les pertes véritables que la pulpe a dû subir. On arrive ainsi à constater que les menues pailles, loin de diminuer les pertes de matières sèches de la masse ensilée, les augmentent, et cela, d'autant plus qu'on les emploie en quantité plus considérable. Il faut remarquer toutefois que les déchets de fenils nous ont donné une perte moins élevée que les menues pailles.

On a donc grand tort de recommander d'ajouter des menues pailles à la pulpe pour favoriser sa conservation. En apportant dans le mélange une proportion de ces déchets aussi élevée que le recommandait Gay, nous avons constaté qu'au bout de six mois environ 70 °/₀ de la matière sèche de la pulpe avait été détruite.

Ainsi, tandis que les pulpes ensilées seules n'ont perdu que 20 °/₀ de matière sèche, nous avons eu à constater, en incorporant à la pulpe 10 °/₀ de menue paille en poids, une perte presque trois fois et demie plus élevée dans le même temps.

Étant donné que la perte de poids brut n'est que de 42,5 °/₀, cette diminution de matière sèche est surprenante ; elle s'explique pourtant assez facilement, car la menue paille qu'on retrouve est gorgée d'eau.

Elle s'est emparée des liquides provenant de la pulpe, de sorte que le produit brut conservé est beaucoup plus aqueux que le mélange ne l'était lors de l'ensilage.

Nous avons cherché à nous rendre compte de la quantité d'eau que la menue paille est capable d'absorber.

Par l'expérience directe, en faisant couler de l'eau sur un tamis ou était emprisonné 1 kilogr. de menue paille semblable à celle qui avait servie dans nos expériences, nous avons constaté, après un simple égouttage, que 2 kilogr. d'eau avaient été retenus. L'expérience, ayant duré encore pendant une heure, a été suivie d'une nouvelle pesée qui nous a donné sensiblement le même chiffre.

Pour avoir confirmation de ce premier résultat, nous avons, d'autre part, fait retirer, sur un échantillon pris dans le sac sortant du silo, les menues pailles mêlées à la pulpe.

Elles paraissaient n'avoir été nullement attaquées par les fermentations. 100 grammes aussitôt séparés ont été mis à l'étuve, pour servir à l'analyse.

Voici les résultats constatés :

Eau	72,2
Matière sèche.	27,8
Total. . . .	100,0

Nous avions aussi la composition de la menue paille à l'origine ; elle contenait :

Eau	16,3
Matière sèche.	83,7
Total. . . .	100,0

Puisque 83,7 de matière sèche sont contenus dans 100 de menue paille, 27,8 de matière sèche retrouvée correspondaient à :

$$\frac{27,8 \times 100}{83,7} = 33,2$$

de menue paille telle qu'elle avait été ensilée.

Pour cette quantité la proportion d'eau retenue est donc de

$$100 - 33,2 = 66,8$$

Ce qui fait, pour les 100 kilogr. de menue paille ensilée, une absorption d'eau de

$$\frac{66,80 \times 100}{33,2} = 200 \text{ kilogr.}$$

comme dans l'expérience précédente.

Nous avons retrouvé 630 kilogr. de matière brute à l'ensilage, la menue paille et l'eau qu'elle a absorbée représentant 300 kilogr. environ, les 100 kilogr. de pulpes se trouvent réduits à

$$630 - 300 = 330 \text{ kilogr.}$$

soit pour elle une perte de poids brut de 67 °/₀. La perte de matière sèche étant de 68,8 °/₀ ; la pulpe restante, considérée seule, est encore aussi aqueuse qu'elle l'était à l'origine.

Pour nous rendre compte de la quantité d'éléments nutritifs que

la menue paille peut retenir par les liquides qu'elle absorbe, nous avons analysé la matière sèche de l'échantillon séparée de la pulpe.

ÉLÉMENTS DOSÉS	COMPOSITION de la matière sèche de la menue paille	
	avant l'ensilage	après l'ensilage
Matières azotées organiques totales	6,1	6,7
Matières grasses	1,4	2,2
Matières hydrocarbonées ou saccharifiables	36,2	38,5
Autres extractifs non azotés	18,3	16,2
Fibres ou cellulose	25,8	25,5
Matières minérales	12,2	10,9
Total	100,0	100,0

Ce tableau indique une augmentation de matières utiles dans la menue paille mélangée à la pulpe, mais le gain est relativement faible.

Composition comparée des produits avant et après l'ensilage

Les échantillons provenant des différents ensilages ont été analysés. Les résultats ci-après vont nous permettre de voir quelles sont les transformations des différents principes immédiats.

Les hydrates de carbone sont toujours les plus attaqués pendant la conservation, ils se perdent beaucoup plus vite que les autres éléments constitutifs, ce qui explique pourquoi ces derniers s'y trouvent toujours en proportion plus grande que dans la matière sèche de la pulpe fraîche.

Nous ferons remarquer que la pulpe stratifiée avec des menues pailles conserve une matière sèche plus riche que celle des silos de pulpe seule.

Pour les silos de pulpe avec menues pailles, la diminution d'hydrates de carbone par rapport à la matière restante est évidemment moindre, la menue paille en renfermant une proportion relativement élevée et d'une nature moins attaquable.

Pour juger de la qualité véritable des produits ensilés, il est néces-

ÉLÉMENTS DOSÉS	PULPES SEULES							PULPES							
	1903-1904		1904-1905					stratifiées avec menue paille		avec des déchets de fenil 115kg,5 °/oo		avec 61 kilogr. de menue paille °/oo		avec 100 kilogr. de menue paille °/oo	
	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après deux mois	Après quatre mois	Après six mois	Après huit mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois
Matières azotées organiques totales	9,2	10,2	11,1	11,6	11,1	12,9	18,4	10,1	13,2	13,7	14,6	8,7	10,1	10,3	10,3
Matières grasses	0,5	0,9	0,5	1,4	1,1	2,6	3,6	0,3	2,0	1,3	4,2	1,0	3,0	1,0	2,4
Matières hydrocarbonées en glucose	39,8	25,1	32.1	31,1	25,5	18,0	16,9	16,7	12,9	35,5	18,1	36,5	20,4	33,4	24,9
Autres extractifs non azotés	22,0	31,5	25,6	23,4	31,4	30,2	30,1	43,4	28,6	12,9	23,7	17,7	29,0	20,3	12,4
Fibre ou cellulose	19,20	21,6	23,2	23,8	21,8	26,6	25,6	19,9	29,3	18,1	17,8	21,7	21,1	24,6	37,1
Matières minérales	9,30	10,7	7,5	9,7	8,1	9,7	10,4	9,6	14,9	18,5	21,6	14,4	16,4	10,4	12,9
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Azote organique	1,47	1,64	1,78	1,86	1,78	2,06	2,14	1,61	2,11	2,19	2,34	1,40	1,61	1,65	1,65
Azote alimentaire	1,37	1,50	1,58	1,40	1,5	1,56	1,46	1,30	1,58	1,90	1,82	1,23	1,22	1,40	1,17
Azote non alimentaire	0,10	0,14	0,20	0,46	0.28	0,50	0,68	0,31	0,53	0,29	0.52	0,17	0,39	0,25	0,48

Composition de la matière humide des produits ensilés

ÉLÉMENTS DOSÉS	PULPES ENSILÉES SEULES							PULPES stratifiées avec des menues pailles		1 000 KILOGR. DE PULPES ADDITIONNÉES DE					
	1903-1904		1904-1905							115kg,5 de fleur de foin		61 kilogr. de menue paille		100 kilogr. de menue paille	
	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après deux mois	Après quatre mois	Après six mois	Après huit mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois	A l'ensilage	Après six mois
Eau et matières volatiles	89,80	90,20	91,40	90,70	91,50	89,00	89,70	91,00	85,10	82,50	78,90	85,40	84,70	84,80	82,90
Matières azotées organiques	0,94	1,00	0,95	1,08	0,94	1,42	1,38	0,91	1,97	2,40	3,09	1,27	1,54	1,56	1,76
Matières grasses	0,05	0,09	0,04	0,13	0,09	0,29	0,37	0,08	0,30	0,23	0,89	0,15	0,46	0,15	0,41
Hydrates de carbone en glucose	4,06	2,46	2,76	2,89	2,17	2,00	1,74	1,50	1,92	6,20	3,81	5,32	3,12	5,08	4,26
Autres extractifs non azotés	2,24	3,08	2,20	2,08	2,76	3,29	3,10	3,91	4,25	2,26	4,99	2,59	4,44	3,09	2,13
Cellulose	1,96	2,12	2,00	2,21	1,85	2,92	2,64	1,79	4,37	3,17	3,76	3,17	3,23	3,74	6,34
Matières minérales	0,95	1,05	0,65	0,91	0,69	1,08	1,07	0,86	2,09	3,24	4,56	2,10	2,51	1,58	2,20
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Matière sèche	10,2	9,8	8,6	9,3	8,5	11,0	10,3	9,00	14,9	17,5	21,1	14,6	15,3	15,2	17,1
Acidité	»	»	0,85	1,50	1,20	1,65	1,58	»	1,81	»	2,04	»	2,06	»	1,60
Azote organique total	0,150	0,161	0,153	0,173	0,151	0,229	0,220	0,145	0,314	0,338	0,494	0,204	0,246	0,251	0,282
Azote alimentaire	0,140	0,147	0,136	0,130	0,127	0,173	0,150	0,117	0,235	0,332	0,384	0,179	0,187	0,213	0,200
Azote non alimentaire	0,010	0,014	0,017	0,043	0,024	0,056	0,070	0,028	0,079	0,051	0,110	0,025	0,059	0,038	0,082

saire d'ailleurs de faire la comparaison sur les matières humides, telles qu'on a l'habitude de les distribuer aux animaux.

Dans les expériences de 1904-1905, la pulpe après deux mois d'ensilage se trouve un peu meilleure comme qualité ; elle est moins aqueuse et plus riche en azote, en matières grasses, en cendres et en cellulose. Après quatre mois, la pulpe renferme plus d'eau ; elle se rapproche davantage de la composition de la pulpe fraîche.

Après six mois, la pulpe contient 11 °/₀ de matière sèche ; à part les hydrates de carbone qui sont en diminution assez forte, on trouve une augmentation importante de la somme des autres principes immédiats. Cela résulte évidemment de la substance, par suite des pertes en eau et de la disparition de certains principes ternaires détruits plus rapidement que les autres par la fermentation.

Après huit mois, la pulpe retrouvée est moins nutritive qu'après six mois ; elle est redevenue plus aqueuse, la proportion d'amides est toujours en augmentation au détriment de l'azote alimentaire et, par l'effet des fermentations devenues plus actives, les principes hydrocarbonés et même la cellulose sont en diminution.

La pulpe stratifiée avec des menues pailles est beaucoup plus nutritive après ensilage, parce que la concentration est encore plus forte : 62 °/₀ de matière ayant disparu. La matière sèche pour cent a augmenté de plus de moitié dans la partie restante et nous trouvons dans cent de matière humide que l'azote, la cellulose et les cendres sont plus que doublés.

Dans les pulpes additionnées de fleur de foin ou de menues pailles, on voit moins ce qui se passe pour la pulpe, parce que les matières ajoutées contribuent à modifier la composition du mélange.

Certainement encore, le produit retrouvé est plus riche et plus nutritif que celui qu'on avait ensilé, mais l'amélioration n'est obtenue que par suite de la fuite plus rapide de certains éléments organiques.

Le tableau suivant permet de juger plus facilement des pertes qui ont pu se produire pendant l'ensilage.



Détermination des pertes pour

ÉLÉMENTS DOSÉS	PULPES SEULES										
	1903-1904			1904-1905							
	A l'ensilage	Après quatre mois	Pertes pour cent	A l'ensilage	Après deux mois	Perte après deux mois	Après quatre mois	Perte après quatre mois	Après six mois	Perte après six mois	Après huit mois
Matière sèche	10,2	7,89	22,6	8,60	7,07	17,8	7,06	17.9	6,94	19,3	5,92
Matières azotées totales	0,91	0,81	11	0,95	0,82	13,7	0,78	17,9	0,89	6,3	0,79
Azote alimentaire	0,140	0,118	15,7	0,136	0,099	27,2	0,105	22,8	0,108	20,6	0,086
Azote non alimentaire	0,010	0,011	»	0,017	0,033	»	0,020	»	0,035	»	0,040
Matières grasses	0,05	0,07	»	0,04	0,10	»	0,07	»	0,18	»	0,21
Matières minérales	0,95	0,84	11,6	0,65	0,69	»	0,57	12,3	0,68	»	0,61
Hydrates de carbone en glucose	4,06	1,98	51,2	2,76	2,20	20,8	1,80	34,8	1,25	54,7	1,00
Cellulose	1,96	1,71	12,8	2,00	1,68	16	1,54	23,0	1,84	8,0	1,52

Répartition des pertes de matière sèche

Nous avons déjà envisagé la perte en matière sèche et elle nous a permis de constater qu'il était préférable d'ensiler les pulpes seules plutôt que de leur incorporer des menues pailles ; nous pouvons voir ici sur quels éléments cette perte se répartit.

Pour la pulpe ensilée seule, nous avons à enregistrer des pertes en matières azotées totales variant de 6,3 à 17,9 °/₀, les variations indiquent que les pertes peuvent être plus ou moins élevées, selon l'état des silos et la nature des fermentations spontanées qui agissent pour transformer la pulpe. Mais, en définitive, ces pertes ne sont pas excessives et on peut voir que dans certains cas, même après six mois, on retrouve à peu près toute la matière azotée.

Dans la pulpe fraîche, la presque totalité de la protéine se trouve sous forme alimentaire, mais il n'en est plus de même dans les pulpes ensilées ; on constate pour celles-ci une perte d'azote alimentaire qui varie, selon les cas, de 15,7 à 36,7 °/₀ et un gain d'azote non alimentaire.

chaque partie constitutive de la pulpe

…PES STRATIFIÉES avec les menues pailles			1 000 KILOGR. DE PULPES ADDITIONNÉS DE											
			115kg,5 de fleur de foin				61 kilogr. de menue paille				100 kilogr. de menue paille			
					Perte répartie sur				Perte répartie sur				Perte répartie sur	
…ı …ıı- …ge	Après quatre mois	Perte après quatre mois	A l'ensilage	Après quatre mois	la totalité	la pulpe seulement	A l'ensilage	Après quatre mois	la totalité	la pulpe seulement	A l'ensilage	Après six mois	la totalité	la pulpe seulement
…0	5,66	37,1	17,5	14,56	16,8	32,9	14,6	12,17	16,6	25,1	15,2	9,83	35,3	68,8
…91	0,75	17,6	2,40	2,13	11,2	32,1	1,27	1,22	4,0	5,6	1,56	1,01	35,2	63,2
…117	0,089	23,9	0,332	0,265	20,2	53,6	0,179	0,149	16,8	22,6	0,213	0,115	46,0	79,7
…028	0,030	»	0,051	0,076	»	»	0,025	0,047	»	»	0,038	0,047	»	»
…13	0,11	»	0,23	0,61	»	»	0,15	0,37	»	»	0,15	0,24	»	»
…96	0,79	8,1	3,24	3,15	2,8	»	2,10	2,00	5,0	»	1,58	1,27	19,6	»
…50	0,73	51,3	6,20	2,63	57,6	98,6	5,32	2,48	53,4	73,6	5,08	2,50	50,8	100
…79	1,66	7,3	3,17	2,59	18,3	33,1	3,17	2,57	18,9	32,3	3,74	3,65	2,4	5,0

La matière est donc l'objet, pendant l'ensilage, d'une transformation préjudiciable à la valeur nutritive du produit. Les hydrates de carbone sont fortement attaqués pendant la conservation ; ils subissent, entre autres transformations, la fermentation alcoolique et peuvent donner par oxydation de l'acide acétique.

Si les transformations réductrices entrent en jeu, il se fait au contraire de l'acide butyrique et même des corps gras, c'est ce qui explique l'augmentation des extractifs éthérés dans la pulpe ensilée.

Il y a lieu de faire remarquer que pour les pulpes de 1903-1904 nous n'avons pas constaté d'acidité dans la matière retirée des silos ; il n'y avait pas non plus une augmentation bien marquée des matières grasses et la perte des hydrates de carbone s'élevait à plus de 50 °/₀.

Faut-il faire un rapprochement entre ces résultats ? Il est certain, en tous cas, que les fermentations qui ont dû se produire dans ces silos étaient absolument différentes de celles qui nous ont laissé une acidité de 1,5 à 2 °/₀ après quatre mois, en 1903-1904. Pour les silos de l'année dernière, la perte s'élève d'autant plus que la con-

servation a été plus longue : de 20,3 elle devient 34,8 après quatre mois, 54,7 après six mois et 63,8 après huit mois. Quant aux matières minérales disparues, elles ont dû être dissoutes pendant la fermentation et entraînées ensuite dans les eaux d'égouttement. Leur solubilisation doit également varier avec les différents ferments qui vivent dans la pulpe.

Les pertes de cendres ne sont pas apparentes, les chiffres que nous donnons à ce sujet présentent de faibles écarts, elles peuvent être dues à des différences toutes naturelles dans la composition. Au bout de deux mois, par exemple, les pulpes de 1904-1905 accusaient une quantité de cendres retrouvées plus grande que celle existant au début, lors de l'ensilage. Il est évident qu'elles n'ont pas pu augmenter et qu'il faut attribuer les différences aux écarts possibles dans toute analyse.

La cellulose elle-même est attaquée en partie, les pertes varient de 8 à 24 °/₀. Comparons maintenant ces résultats à ceux que nous avons obtenus par l'ensilage avec stratification dans la menue paille. La perte de matière sèche montre suffisamment que ce mode de conservation est inférieur à celui qui consiste à ensiler la pulpe seule. Pour l'azote total comme pour l'azote alimentaire, la perte est aussi élevée, tandis que pour les hydrates de carbone plus de la moitié a disparu au bout de quatre mois.

Lorsque la conservation est faite en mélangeant les pulpes aux menues pailles, il y a lieu de distinguer la perte apparente, calculée sur l'ensemble des produits, et la perte réelle obtenue, en supposant (ce qui doit avoir lieu pour la grande partie des principes immédiats) que la différence entre le total des substances ensilées et le total des matières retrouvées est attribuable en entier aux modifications subies par la pulpe.

Nous admettons pour cela que les déchets de fenils (fleur de foin) ou les menues pailles ont conservé tous les éléments qu'ils renfermaient au début.

Cette perte réelle est très intéressante à étudier.

Dans les pulpes stratifiées avec des menues pailles, la proportion d'azote alimentaire disparu n'est pas plus élevée que dans la pulpe ensilée seule. Avec une dose modérée de menues pailles (61 kilogr. °/₀₀

de pulpes), nous retrouvons à peu près autant d'azote qu'il en existait au début ; la perte de matière sèche porte presque exclusivement sur les autres éléments immédiats ; les hydrates de carbone disparaissent dans la proportion de 73,6 °/₀ et la cellulose dans la proportion de 32,3 °/₀.

Quand on incorpore aux pulpes une quantité plus grande de matières absorbantes, les pertes deviennent à leur tour plus considérables. Nous trouvons avec les déchets de fenil ou fleur de foin une perte de 32,1 sur l'azote total, portant sur plus de 50 °/₀ de l'azote alimentaire. Il y a lieu de se demander, cependant, si les déchets de fenil ne s'altèrent pas un peu pour leur compte ; il y avait dans les fleurs de foin une proportion assez grande de petites feuilles détachées de luzerne ou de trèfle ; celles-ci, contrairement aux tiges, ne présentent pas une résistance bien grande et il est logique d'admettre qu'elles ont pu contribuer en partie à la perte. De toute manière, celle-ci reportée sur l'ensemble dépasse 20 °/₀. C'est là un chiffre minimum, car on doit bien supposer que la pulpe perd pour son compte davantage que les déchets qu'on lui incorpore. Les hydrates de carbone ont disparu dans la proportion de 57,6 °/₀ sur l'ensemble, et de 98,6 °/₀, en calculant sur la pulpe seulement. Pour la cellulose, nous trouvons respectivement les chiffres de 18,3 sur l'ensemble, et de 33,1 sur la pulpe.

Les déchets de fenil, employés à doses élevées, déterminent moins de perte que les menues pailles. Avec celles-ci, en effet, utilisées à la dose de 10 °/₀, les pertes deviennent excessives ; elles atteignent 68,8 °/₀ de la matière sèche. La matière azotée totale, calculée sur la pulpe seule, perd 63,2 °/₀ de son poids ; l'azote alimentaire disparaît dans une proportion encore plus élevée (79,7 °/₀). Tous les hydrates de carbone saccharifiables sont détruits par la fermentation, on ne constate guère qu'une augmentation, assez faible d'ailleurs, de la matière grasse. Il n'y a pas lieu de s'en étonner, parce qu'on sait que celle-ci peut provenir de la décomposition des matières hydrocarbonées. Dans les trois séries de silos nous constatons aussi que la proportion d'acide est relativement forte.

La matière humide renfermait :

2,04 d'acide exprimé en acide acétique dans le silo avec fleur de foin ;



2,06 d'acide exprimé en acide acétique dans le silo avec 61 °/₀₀ de menues pailles;

1,60 d'acide exprimé en acide acétique dans le silo avec 100 °/₀₀ de menues pailles.

La perte de matières minérales est trop élevée pour n'être pas réelle. Il est certain qu'elles n'ont pas pu disparaître autrement que par dissolution dans l'eau qui a coulé des silos, malgré la menue paille incorporée pour l'absorber.

Dans le cas où la pulpe était ensilée seule, les pertes de matières minérales sont restreintes. Gay avait constaté une perte de plus de moitié dans ses expériences. Comme ses déterminations ont été faites sur une grande masse de pulpes, on peut admettre que les écarts constatés proviennent surtout de la non-homogénéité de la substance, dans les échantillons prélevés au début et à la fin de l'ensilage.

CONCLUSIONS

Des expériences que nous avons poursuivies à Berthonval pendant deux années consécutives, sur la conservation des betteraves et des pulpes, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

1° Les betteraves entières, récoltées dans de bonnes conditions, peuvent se conserver pendant plusieurs mois sans altération; mais elles perdent, par leur séjour prolongé dans les silos, une partie de leurs principes immédiats : matières azotées, hydrates de carbone et cellulose. Seules, les matières solubles dans l'éther (graisse) subissent une augmentation, par suite de la transformation des matières sucrées.

2° La cause de ces pertes réside, d'une part, dans la fermentation des hydrates de carbone, et, d'autre part, dans l'oxydation de la matière organique, qui se transforme en acide carbonique et se volatilise sous cette forme. La cellulose elle-même n'échappe point à ces transformations. La matière azotée se retrouve à peu près dans la betterave entière, mais, si elle persiste pendant la conservation, elle n'en subit pas moins une transformation défavorable à sa valeur nutritive. Les albuminoïdes diminuent pendant que les amides augmen-

tent progressivement. Il y a donc, en réalité, transformation de l'azote alimentaire en azote non alimentaire.

3° Les pertes sont d'autant plus accentuées que la conservation se prolonge plus longtemps. Après le mois de mai, il est difficile d'éviter la pourriture en tas. Celle-ci rend la conservation désastreuse lorsqu'on veut la prolonger tout l'été.

4° Les betteraves, divisées en cossettes avant l'ensilage, subissent des pertes d'autant plus grandes que les racines sont plus aqueuses.

5° L'addition des matières absorbantes aux cossettes : balles, fleur de foin, menues pailles, etc., exerce une influence défavorable en accentuant la déperdition des principes nutritifs.

6° L'ensilage des betteraves hachées n'est pas recommandable ; on ne doit y recourir que lorsqu'il s'agit de conserver les racines atteintes par les gelées ou de prolonger la conservation. Mais, dans ce dernier cas, la dessiccation est préférable, car elle permet de conserver la totalité du sucre qui disparaîtrait en grande partie par l'ensilage, en même temps qu'une forte proportion de principes nutritifs.

7° Les pulpes de sucreries ensilées subissent une perte de poids assez importante qui porte non seulement sur l'eau qu'elles renferment en proportion considérable, mais encore, et surtout, sur la matière sèche.

Tous les principes immédiats n'ont pas à supporter au même degré les influences de la fermentation en silo. Les hydrates de carbone sont fortement attaqués, ils subissent la fermentation alcoolique et peuvent donner par oxydation de l'acide acétique. Si les fermentations réductrices entrent en jeu, il se fait au contraire de l'acide butyrique et même des corps gras, c'est ce qui explique l'augmentation de la matière grasse dans la pulpe ensilée. Les matières azotées disparaissent en faible proportion, mais tandis que dans la pulpe fraîche elles sont représentées presque en totalité par des albuminoïdes, dans la pulpe conservée la proportion d'azote alimentaire va en diminuant par suite de sa transformation en composés amidés.

8° La teneur en eau est aussi grande dans la pulpe ensilée que dans la pulpe fraîche.

9° Il n'y a pas de pertes considérables de matières nutritives par



l'écoulement des eaux à travers les parois des silos. La matière minérale peut être entraînée en partie, elle se solubilise évidemment du fait de l'acidité qui se développe pendant la conservation. Il serait nécessaire de connaître, dans chaque cas, la composition primitive et le degré d'acidité du produit fermenté, pour établir la corrélation probable qu'il y a entre la disparition de la matière minérale et la marche de la fermentation.

10° L'ensilage des cossettes avec des matières absorbantes : balles, menues pailles, résidus de fenils, etc., ne met point à l'abri des pertes. La proportion de ces résidus qu'on emploie généralement est insuffisante pour retenir toute l'eau qui s'écoule des fosses à pulpes. Pour arriver à ce résultat, il faudrait en employer des quantités importantes, mais on constate alors une perte en matière sèche bien supérieure à celle qui se produit dans la pulpe ensilée seule. La paille hachée et les menues pailles, en augmentant la porosité de la masse, activent son oxydation et sa décomposition, et ont pour effet de faire dégager, sous forme de produits gazeux, une partie des principes immédiats transformés par les fermentations.

11° Pour éviter les pertes subies pendant l'ensilage, il est préférable de conserver les pulpes seules et d'en faire consommer une partie à l'état frais; il est évident, en effet, que l'énorme perte de substances nutritives, inhérente à la conservation des pulpes humides, n'est pas compensée par une valeur alimentaire plus élevée du produit qui reste.

12° Il y aurait avantage à soumettre à la dessiccation la portion des pulpes qu'il est impossible de faire consommer fraîche pendant la campagne; si on considère que les pulpes, indépendamment des pertes qu'elles subissent pendant l'ensilage, sont d'un transport coûteux, qu'elles ne sont jamais à l'abri des fermentations et peuvent devenir une cause sérieuse d'inconvénients hygiéniques, que les vaches laitières nourries avec les cossettes fermentées donnent un lait très facilement altérable, on voit que la dessiccation est recommandable. Elle fait de la cossette un aliment de conservation facile, ayant une valeur plus grande sous un plus faible volume et pouvant, par suite, supporter des frais de transport. Les pulpes sont peu modifiées par la dessiccation, elles conservent la totalité de leur principes immédiats,

et leur matière azotée reste sous la forme albuminoïde. Mises en contact avec l'eau, elles reprennent l'état humide et peuvent satisfaire aux exigences de l'alimentation. On a prétendu que l'eau ajoutée de cette façon n'avait pas la qualité de l'eau naturelle de l'aliment, comme celle qui se trouve dans la pulpe humide : mais il ne faut pas perdre de vue que l'eau contenue dans la pulpe ne provient pas de la betterave, mais bien de celle qui a été employée à l'épuisement des cossettes. Au lieu de cette soi-disant eau naturelle, qui contient fréquemment des toxines en abondance, mieux vaut assurément administrer aux animaux l'eau potable habituelle.

L'emploi économique des pulpes desséchées est surtout possible dans les régions éloignées des sucreries et pour l'alimentation des vaches dont le lait est employé à la consommation directe.

LE

CHAMP D'EXPÉRIENCES

DU PARC DES PRINCES

(1892-1897)

SIX ANNÉES D'EXPÉRIENCES DE CULTURE

DEUXIÈME SÉRIE : 1895 A 1897 (1)

QUATRIÈME ANNÉE — 1895

Nature des fumures et récoltes en 1895

Fumure : Parcelles II à VI et IX à XV. — 100 kilogr. de nitrate à l'hectare, à la semaille.

Récolte : Parcelles I à XVI. — Avoine de Pologne, semée en ligne le 23 mars 1895, à raison de 189 litres à l'hectare (117 kilogr.).

Après le déchaumage de l'avoine, semis de lupin et de pois : lupin jaune, lupin blanc, 120 kilogr. ; pois, 60 kilogr., à l'hectare.

En 1895, l'avoine a succédé au blé, au Parc des Princes. Les résultats de cette culture ne sont pas moins intéressants que ceux des précédentes récoltes. Nous allons les résumer dans leurs traits essentiels.

Depuis la récolte du blé qui a eu lieu le 19 juillet 1894, les éteules

---

1. Voir la première série dans le fascicule 2 du tome I, 1905.

de cette céréale sont restées en terre. Étant donnée la légèreté du sol, qui ne rendait pas nécessaire un labour d'hiver, le déchaumage n'a été effectué qu'en mars, quelques jours avant la semaille de l'avoine. La variété choisie était l'avoine blanche de Pologne, variété hâtive qui nous avait paru devoir réussir sous le climat humide et un peu froid du bois de Boulogne. La semence pesait 61^{kg},850 à l'hectolitre, poids très élevé, rarement atteint par cette céréale. La semaille a été faite en ligne avec l'excellent semoir à six rangs que la maison Smith et fils avait, comme l'année précédente, mis obligeamment à notre disposition. La quantité de semence employée a été de 117 kilogr., soit 189 litres à l'hectare. Conformément aux plans d'essais adoptés depuis 1892, le seul engrais à ajouter au sol pour la récolte d'avoine était l'azote. D'ordinaire, c'est en couverture, c'est-à-dire à la volée à l'époque du tallage qu'on a coutume de répandre le nitrate de soude sur les céréales. Ayant eu connaissance des bons résultats de l'emploi du nitrate au moment de la semaille des céréales d'été, nous avons voulu en faire l'expérience. Le champ a donc reçu, quelques jours avant la semaille en ligne, une dose de nitrate de soude correspondant à 100 kilogr. de ce sel à l'hectare, soit 15 kilogr. d'azote. On se réservait de compléter cette fumure au moment convenable, par l'épandage à la volée d'une nouvelle quantité de nitrate, si l'aspect de la végétation rendait cette addition d'azote nécessaire. Il n'en a rien été : l'avoine était si vigoureuse, et de couleur verte si intense vers le milieu de mai, qu'on a jugé inutile un nouveau nitratage. On peut inférer de là que le nitrate de soude introduit dans le sol au labour qui a précédé la semaille, a suffi à l'alimentation azotée de l'avoine. Déjà, l'année dernière, la même dose de nitrate (100 kilogr. à l'hectare) avait fourni au blé une quantité suffisante d'azote pour une production de grain qui a atteint jusqu'a 38 et 43 quintaux métriques dans certaines parcelles.

L'avoine a parcouru toutes les phases de la végétation dans l'espace de cent dix-neuf jours. Semée le 23 mars, elle était complètement arrivée à maturité le 18 juillet 1895. La hauteur des tiges variait de 80 centimètres, dans les parcelles témoins, à 1^{m},50 et 1^{m},60 dans les autres.

Le battage a été fait dans le champ même avec la batteuse Lanz, excellent outil que nous avait prêté M. Faul. Cette batteuse, que deux hommes suffisent à actionner, donne de très bons résultats. Comme nous avions déjà eu l'occasion de le constater l'an dernier à propos de la récolte du blé, cette batteuse ne casse pas le grain ; elle rend de grands services à la petite culture, son prix étant peu élevé et son travail assez rapide.

Pour l'évaluation de la récolte, on a procédé de la manière suivante : l'avoine coupée à la faux, à 6 centimètres au-dessus du sol, a été mise en gerbe immédiatement. Les gerbes de chaque parcelle réunies sous la tente qui abritait la machine à battre ont été pesées, puis battues. Le grain passé au tarare a été pesé, et le poids de la paille déterminé par différence entre celui des gerbes et celui des grains. Les chiffres que l'on trouvera plus loin, sous la rubrique « paille », représentent donc à la fois le poids de la paille et celui des balles. Le poids *naturel,* c'est-à-dire le poids apparent de l'hectolitre d'avoine, a été obtenu par la pesée d'un décalitre de grains tassé et arasé comme on a l'habitude de le faire dans la pratique. La densité réelle de l'avoine a été déterminée au laboratoire, quand on a procédé à l'analyse des produits des différentes parcelles.

Ceux de nos lecteurs qui ont suivi les expériences du Parc des Princes savent que l'un des objectifs principaux que nous avons en vue est l'étude de la valeur agricole comparative des divers phosphates. Dans les douze parcelles qui ont été fumées au nitrate de soude, il n'existe d'autre différence, dans la quantité et la nature de la fumure, que la forme sous laquelle l'acide phosphorique leur a été donné ; en effet, toutes ont reçu, en 1892, 200 kilogr. de potasse sous le même état (kaïnite) et 300 kilogr. d'acide phosphorique, sous forme de phosphates minéraux bruts à l'état de poudre fine, de scories de déphosphoration, de superphosphate et de phosphate précipité. Le sol étant de composition suffisamment homogène dans toute l'étendue du champ, les différences constatées dans les rendements ne sont attribuables qu'à l'assimilation plus ou moins complète, suivant les conditions climatériques et la nature des récoltes, des divers phosphates. Les déductions à tirer des résultats observés chaque année acquièrent par la continuité des expériences une valeur croissante,

la succession des récoltes, dans des conditions de fumure identique pour chaque parcelle, rendant de moins en moins sensibles les variations accidentelles. Dans un champ d'expériences où l'on ne fait varier qu'une seule condition à la fois, comme c'est le cas au Parc des Princes, et dont le plan comporte une série d'années d'essais dans la même direction, on peut espérer arriver à des conclusions applicables à la pratique culturale qu'une seule année d'expériences, si bien conduites soient-elles, ne saurait donner.

Dans les tableaux suivants, on a inscrit à côté du numéro de la parcelle le nom de l'engrais phosphaté qu'elle a reçu. Nous commençons par rapporter les chiffres relatifs aux douze parcelles nitratées; nous donnerons plus loin ceux qui permettent la comparaison des récoltes obtenues avec les trois engrais azotés.

TABLEAU I

NUMÉROS des parcelles	NATURE des phosphates	POIDS du grain	POIDS de la paille et des balles	RÉCOLTE totale	POIDS de l'hectolitre	NOMBRE d'hectolitres à l'hectare	MULTIPLICATION de la semence
		q. m.	q. m.	q. m.			
X	Somme 75/80	30,00	72,00	102,00	52,80	56,85	25,7
XI	Floride.	29,70	67,60	97,30	53,40	55,61	25,4
IX	Portugal	26,14	65,86	92,00	53,20	49,13	22,3
XII	Scories de l'Est . . .	25,45	63,20	88,65	55,70	45,60	21,8
III	Ardennes.	24,82	60,24	85,06	50,50	49,15	21,2
VI	Cambrésis.	24,73	77,87	102,60	52,50	47,10	21,1
IV	Boulonnais	24,59	57,61	82,20	50,80	48,40	21,0
XIII	Scories anglaises. . .	23,30	54,70	78,00	54,70	42,60	19,7
XV	Superphosphate . . .	22,60	52,80	75,40	52,20	43,30	19,2
II	Somme 45/50	22,25	63,51	85,76	50,10	44,40	19,0
V	Indre	20,62	60,31	80,93	47,20	43,65	17,6
XIV	Phosphate précipité. .	20,25	38,50	58,75	50,70	39,94	17,2
I, XVI	Moyenne des témoins.	12,89	42,88	55,77	46,70	27,60	11,0

Le tableau I indique, pour chaque parcelle, classés d'après les poids décroissants d'avoine récoltée : 1° les rendements en grain; 2° en paille, 3° le poids total de la récolte, 4° le poids de l'hectolitre,

5° le nombre d'hectolitres à l'hectare et 6° la multiplication de la semence; tous les chiffres sont rapportés à l'hectare.

Le poids naturel de la semence était extraordinairement élevé, comme nous l'avons dit précédemment (61^{kg},85 à l'hectolitre). Il n'a été atteint par l'avoine d'aucune des parcelles. Comme on le verra en jetant un coup d'œil sur le tableau I, il a été supérieur, une seule fois, à 55^{kg},70 et il est tombé à 47^{kg},20 dans la parcelle V et à 46^{kg},70 dans les parcelles témoins I et XVI. L'analyse de l'avoine de semence et du grain récolté dans les diverses parcelles pourra-t-elle nous donner l'explication de ces divergences? C'est ce que nous chercherons à élucider.

De la discussion des chiffres contenus dans le tableau I et de leur comparaison avec les résultats des années précédentes, nous aurons à tirer d'intéressantes déductions. Bornons-nous pour le moment à constater que, d'une manière générale et en ce qu'elles ont de fondamental, les conclusions que nous avons tirées les années précédentes des rendements obtenus au Parc des Princes trouvent, dans la récolte de 1895, une complète confirmation. Cette récolte montre de nouveau à l'évidence deux faits importants pour les cultivateurs des sols siliceux pauvres, très abondants en France, savoir : 1° la possibilité d'obtenir dans ces terrains, pourvu que leurs qualités physiques s'y prêtent, des rendements en céréales comparables à ceux des sols de longue date en culture et justement réputés fertiles; 2° l'assimilabilité du phosphate de chaux naturel d'origines les plus diverses : comme le blé, l'avoine a utilisé les sables phosphatés de la Somme, la phosphorite du Portugal, les phosphates du gault, du grès vert, de l'étage crétacé, etc... Il en est de même des scories de déphosphoration. Les hauts rendements en avoine du champ d'expériences, de 20 à 30 quintaux de grains à l'hectare, sont d'autant plus intéressants à constater, qu'en général cette année n'a pas été favorable au développement de cette céréale.

La valeur d'une récolte de céréales dépend principalement de la quantité du grain produit, mais elle ne peut s'établir rationnellement qu'en tenant compte de la paille, dont il y a lieu d'ajouter le prix à celui du grain, soit que le cultivateur l'utilise pour l'alimentation de son bétail, soit qu'il la vende.

La proportion de la paille au grain varie, on le sait, très notablement d'une céréale à une autre et même d'une variété de céréale à une autre variété ; elle varie également avec les conditions météorologiques et même avec la nature du sol et des engrais que celui-ci a reçus. Les écarts entre la proportion du grain et de la paille récoltés dans le même terrain, la même année, sont mis en évidence par les résultats des essais culturaux du champ d'expériences du Parc des Princes, sans qu'il nous soit possible, quant à présent du moins, d'en donner une explication satisfaisante. Nous les enregistrons à titre de renseignements et pour en déduire, comme on le verra plus loin, la part qui revient à la fumure dans le coût du grain obtenu *en excédent* sur les parcelles non fumées.

En partant des rendements inscrits dans le tableau I, il est aisé de calculer pour la récolte de chacune des parcelles : 1° la quantité de paille correspondant à 100 kilogr. de grain, et 2°, réciproquement, le poids du grain correspondant à 100 kilogr. de paille. Le tableau II résume les résultats de ces calculs :

TABLEAU II

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	POIDS de paille correspondant à 100 kilogr. de grain	POIDS de grain correspondant à 100 kilogr. de paille
X.	Somme 75/80	240 »	41,66
XI.	Floride	227,6	43,92
IX.	Portugal	252,0	36,69
XII.	Scories de l'Est	248,4	40,26
III.	Ardennes	242,8	41,20
VI.	Cambrésis	314,8	31,75
IV.	Boulonnais	234,2	42,69
XIII.	Scories anglaises	234,8	42,59
XV.	Superphosphate	233,0	42,82
II.	Somme 45/50	285,0	35,03
V.	Indre	292,0	34,19
XIV.	Phosphate précipité	190,0	52,50
I et XVI.	Sans engrais (1)	330,1	30,28

Avant la moisson, il était facile de constater, au simple aspect de

1. Moyenne des deux parcelles témoins.

la récolte, un écart considérable entre certaines parcelles, mais on ne se serait jamais douté que la balance accuserait, entre les parcelles VI et XIV, par exemple, une différence dans les rapports de la paille au grain de près de 64 °/₀ en faveur de la parcelle VI (Cambrésis). Ces écarts, difficiles à expliquer, doivent être notés, car ils influent très sensiblement sur la valeur totale de la récolte et sur le coût du grain. Nous le montrerons dans un instant.

Si l'on prend la moyenne des rapports de la paille au grain pour toute la récolte du champ, on trouve que l'avoine de Pologne donne 250 kilogr. de paille pour un quintal de grain et 40^{kg},34 de grain pour un quintal de paille. Cette avoine fournit donc une plus grande quantité de paille que la plupart des autres variétés, le chiffre moyen indiqué par les agronomes les plus autorisés étant de 225 kilogrammes de paille pour 100 de grain. La paille d'avoine, beaucoup plus riche en matière azotée que celle du blé et du seigle, convient particulièrement à l'alimentation du cheval.

Pour donner une idée de la valeur *brute* de la récolte de chacune des parcelles, nous prendrons, comme base des calculs, le prix actuel de l'avoine[1], soit 16 fr. les 100 kilogr., et 25 fr. pour 1 000 kilogr. de paille. Les chiffres du tableau III sont établis d'après ces valeurs et rapportés à une surface d'un hectare :

TABLEAU III. — Estimation de la récolte

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	VALEUR du grain		VALEUR de la paille		VALEUR de la récolte
X.	Somme 75/80.	480,00	+	180,00	=	660,00
XI.	Floride	475,28	+	169,00	=	644,20
VI.	Cambrésis	395,68	+	194,75	=	590,43
IX.	Portugal.	418,24	+	164,65	=	582,89
XII.	Scories de l'Est. . . .	407,20	+	158,00	=	565,20
III.	Ardennes	397,12	+	150,60	=	547,72
IV.	Boulonnais.	393,44	+	144,02	=	537,46
XIII.	Scories anglaises . . .	372,80	+	136,75	=	509,55
XV.	Superphosphate	361,60	+	132,00	=	493,60
II.	Somme 45/50.	356,00	+	132,00	=	488,00
V.	Indre	329,92	+	150,77	=	480,69
XIV.	Phosphate précipité . .	324,00	+	96,25	=	420,25
I et XVI.	Sans engrais	206,24	+	106,45	=	312,69

1. Cours de l'époque.

Le coût moyen de la fumure, pour l'année 1895, peut s'établir approximativement, en admettant qu'il se compose du cinquième des prix du fumier, des phosphates et de la kaïnite enfouis dans le sol la première année, et du prix des 100 kilogr. de nitrate employés au printemps dernier. Nous avons fait connaître précédemment[1], avec tous les détails désirables, les éléments de l'évaluation de la dépense faite, dans chaque parcelle, suivant le prix des phosphates employés, mais, pour plus de simplicité, nous attribuerons ici une valeur unique à l'acide phosphorique (30 cent. le kilogramme chiffre supérieur à la dépense réelle).

La part de la dépense de fumure, afférente à l'avoine de 1895, ressort à un chiffre inférieur à 100 fr. à l'hectare et qui s'établit ainsi qu'il suit :

1/5 de 180 fr., prix des 30 000 kilogr. de fumier	= 36 fr.
1/5 de 90 fr., prix des 300 kilogr. d'acide phosphorique.	= 18
1/5 de 80 fr., prix des 200 kilogr. de potasse	= 16
100 kilogr. de nitrate de soude.	= 24
	94 fr.

En comptant 100 fr. pour le prix de la fumure de l'avoine, nous sommes donc certain de rester au-dessus de la vérité.

Mise en regard des chiffres qui, dans le tableau III, représentent la valeur totale de la récolte de chaque parcelle, rapportée à l'hectare, cette dépense de 100 fr. laisserait, pour couvrir les dépenses de toute sorte, loyer, culture, récolte, impôts et bénéfice, des sommes variant de 320 à 560 fr., suivant la nature des phosphates employés.

On remarquera, en comparant les chiffres des tableaux I et II, l'influence que le rendement en paille peut exercer sur la valeur d'une récolte de céréales : c'est ainsi, par exemple, que le *Cambrésis*, qui ne vient qu'au sixième rang, d'après la quantité de grain récolté (tableau I), figure au troisième, d'après la valeur totale de la récolte (tableau III), la quantité extraordinaire de paille fournie par la parcelle VI rachetant et au delà l'infériorité relative de la production du grain. Tandis que dans l'estimation de la récolte de la parcelle II la

1. Voir tome I, 2e fascicule, 1905.

paille ne figure que pour le tiers environ de la valeur totale, elle entre dans celle de la parcelle VI à peu près pour moitié. Il nous a paru utile de noter ces différences pour insister sur la nécessité de tenir compte des quantités de paille produites, dans tous les calculs relatifs à l'évaluation de la valeur des récoltes de céréales.

Nous avons trop de fois eu l'occasion, depuis de longues années, de nous prononcer à l'endroit de la fixation de ce que l'on est convenu d'appeler le *prix de revient* des denrées agricoles pour y revenir longuement. Il n'existe pas, à proprement parler, de *prix de revient* du blé, de l'avoine, etc., ou, plutôt, il y a autant de prix de revient de ces denrées que d'exploitations où on les produit. Le prix de revient est le résultat d'un ensemble de facteurs éminemment variables d'un point à un autre, d'une exploitation à une autre, si voisines ou si comparables qu'elles puissent paraître au premier abord. Nous nous sommes toujours élevés à juste titre, nous en avons du moins la conviction, contre l'affirmation d'un prix de revient unique du quintal de blé, 25 fr. par exemple, quels que soient le lieu et les conditions de production de cette quantité de froment. La seule évaluation qui nous ait toujours paru non seulement possible, mais presque absolument exacte, est celle du rapport existant entre la dépense en engrais et le coût du quintal de blé, d'avoine, de pommes de terre, etc., obtenu, grâce à cette dépense, dans un sol et pour une année donnés. Depuis plus de vingt-cinq ans que nous étudions expérimentalement la production des diverses plantes de la grande culture, nous nous sommes toujours attachés à établir le *prix de revient* du quintal obtenu *en excédent sous l'influence des engrais*, sans chercher à établir le prix de revient *moyen* du quintal de la récolte, ce dernier étant tellement variable, suivant les conditions où l'on est placé, qu'il ne saurait être défini par un chiffre unique, pour chaque végétal.

Appliquant à la récolte d'avoine du Parc des Princes, en 1895, la méthode que nous avons toujours suivie pour ce genre de calcul, nous allons chercher à montrer combien est prépondérante l'influence de la fumure sur les rendements du sol et sur le coût des produits obtenus.

Les parcelles I et XVI demeurées sans aucune fumure depuis l'o-

rigine, mais très profondément défoncées en 1891-1892, condition qui a sensiblement amélioré la fertilité naturelle du sol, ont donné les rendements suivants, rapportés à l'hectare :

Avoine (grains)	12qm,89
Avoine (paille)	42qm,88

En retranchant ces quantités du produit de chacune des parcelles, on a, pour différence, le poids des récoltes de grain et de paille vraisemblablement attribuables à l'engrais, puisque toutes les autres conditions, sauf celle de la fumure, sont identiques à celles des témoins. Le tableau IV nous indique les *excédents* en grain et paille (rapportés à l'hectare) fournis par chacune des parcelles :

TABLEAU IV

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	EXCÉDENTS SUR LES TÉMOINS à l'hectare	
		Grain	Paille
		quint. mét.	quint. mét.
X.	Somme 75/80	17,11	29,12
XI.	Floride	16,81	24,72
IX.	Portugal.	13,25	22,98
XII.	Scories de l'Est.	12,56	20,32
III.	Ardennes	11,93	17,36
VI.	Cambrésis	11,84	34,99
IV.	Boulonnais.	11,70	14,73
XIII.	Scories anglaises	10,41	11,82
XV.	Superphosphate.	9,71	9,92
II.	Somme 45/50	9,36	20,63
V.	Indre.	7,73	17,43
XIV.	Phosphate précipité	7,36	4,38 (1)

Il est évident, *a priori*, que l'excédent d'avoine récolté, pour une même dépense en engrais, évaluée à 100 fr. par hectare (maximum), étant dans la parcelle X de 17qm,11 et de 7qm,36 dans la parcelle XIV, le prix de revient de chaque quintal (excédent) sera essentiellement différent. Cette différence s'accentuera encore bien davantage si,

1. La parcelle XIV a produit 4qm,38 de paille de moins que les parcelles témoins, bien qu'ayant donné 7qm,36 de grain de plus que ces dernières.

comme on a coutume de le faire dans la comptabilité agricole, on retranche du prix du quintal de grain celui de la paille correspondante. Le tableau V met en lumière cette double différence et montre de la manière la plus frappante l'influence de la fumure sur le coût d'un quintal d'avoine, dans les conditions où nous avons opéré au Parc des Princes. Deux mots sur la manière dont a été établi le tableau V.

La première colonne donne le quotient de 100 par le nombre de quintaux de grain obtenus, *en excédent*, sur les parcelles non fumées : les chiffres qu'elle renferme expriment le coût (en fumure) du quintal de grain avec la paille correspondante ; la deuxième colonne donne le prix de la paille correspondant à la récolte en grain, calculé à raison de 25 fr. les 1 000 kilogr. Dans la troisième colonne, sont inscrits les prix du quintal d'avoine (première colonne), défalcation faite de la valeur vénale de la paille correspondante.

TABLEAU V

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	COUT (en engrais) du quintal de grain avec sa paille		VALEUR de la paille correspondante		COUT du quintal de grain (en engrais)
—	—	—		—		—
		francs		francs		francs
X.	Somme 75/80	5,84	—	4,19	=	1,65
XI.	Floride.	5,94	—	3,57	=	2,37
IX.	Portugal	7,47	—	4,33	=	3,14
XII.	Scories de l'Est	7,96	—	4,04	=	3,92
III.	Ardennes.	8,38	—	3,64	=	4,74
VI.	Cambrésis	8,45	—	7,38	=	1,07
IV.	Boulonnais	8,54	—	3,01	=	5,53
XIII.	Scories anglaises.	9,60	—	2,84	=	6,76
XV.	Superphosphate	10,29	—	2,55	=	7,74
II.	Somme 45/50	10,68	—	5,50	=	5,18
V.	Indre	12,93	—	5,63	=	7,30
XIV.	Phosphate précipité. . . .	13,57	+	1,45	=	15,02

CINQUIÈME ANNÉE

Nature des fumures et récolte en 1896

Le champ d'expériences du Parc des Princes a fourni cette année sa cinquième récolte.

Les fumures ont été les suivantes :

Parcelles I et XVI : Moitié de chaque parcelle seulement a été semée en lupins le 2 août 1895.

Parcelles II à XV : Entièrement semées en légumineuses, pois et lupins enfouis au commencement d'avril 1896.

En 1896, pas plus que dans les années précédentes, les parcelles II à XV n'ont reçu aucune fumure minérale. Les pommes de terre ont été plantées sur lupin enfoui au moment de la plantation.

Dans les parcelles I et XVI qui servent de témoins, moitié seulement avait été semée en lupin après le déchaumage de l'avoine en 1895. La récolte moyenne des deux parties des témoins I et XVI a été la suivante :

	POMMES DE TERRE à l'hectare
Partie plantée après lupin	10,818 kilogr.
Partie plantée sans lupin.	7,066 —
Différence	3,752 —

soit 34,7 °/₀.

Lors de sa création, au printemps de 1892, on s'est proposé comme objectif principal, dans les seize parcelles de 1 are et demi chacune, soumises à un assolement, l'étude comparative de l'influence des diverses formes d'acide phosphorique sur les végétaux de la grande culture. A cet effet, nous l'avons dit, chaque parcelle fumée a reçu, au printemps de 1892, 4 kilogr. et demi (correspondant à 300 kilogr. à l'hectare) d'acide phosphorique à divers états de combinaison : la potasse a été fournie au sol, sous une forme unique (kaïnite), à la dose de 3 kilogr. par parcelle (soit 200 kilogr. de potasse à l'hectare). L'azote a été donné à doses égales à l'état de nitrate de soude, de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché : 45 kilogr. d'azote pour les plantes sarclées, 15 kilogr. pour les céréales. Jetons un coup d'œil d'ensemble sur les conditions actuelles de fertilité du champ, en rapprochant les prélèvements en éléments nutritifs que cinq récoltes successives ont exercés, des quantités de chacun d'eux introduites par la fumure ou existant dans le sol vierge mis en culture en 1892.

Comme nous l'avons vu, le sol du bois de Boulogne est très pauvre

en aliments des plantes; rappelons que son analyse montre que sa teneur naturelle en acide phosphorique, potasse et azote est loin d'atteindre celle que beaucoup d'agronomes indiquent comme richesse minima d'une terre fertile, soit 0,1 °/₀ (1/1 000 du poids de la terre fine).

SOL DU PARC DES PRINCES	POUR cent parties de terre	A L'HECTARE dans une couche de 0m,30 d'épaisseur
Acide phosphorique	0,045	2,092
Potasse	0,019	883
Azote	0,068	3,162
Chaux	0,920	42,780

Ce sol, qui appartient à la catégorie des terrains siliceux non calcaires, renferme cependant assez de chaux pour assurer la nitrification des matières organiques et pour fournir aux récoltes l'alimentation calcaire nécessaire à leur développement : il paraît très probable, en outre, que l'action si manifeste des phosphates constatée depuis l'origine de nos essais doit être entièrement attribuée à l'acide phosphorique, l'approvisionnement des végétaux en chaux étant largement assuré par la présence de plus de 1 1/2 °/₀ de calcaire dans le sol.

Sans revenir sur l'influence particulière des différentes formes d'acide phosphorique sur les récoltes des cinq années, bornons-nous à rappeler les rendements moyens rapportés à l'hectare, des végétaux qui se sont succédé au Parc des Princes :

ANNÉES	RÉCOLTES		QUINTAUX métriques
1892.	Pommes de terre Richter's Imperator		248,8
1893.	Pommes de terre jaune de Hollande		216,4
	Pommes de terre Marjolin Tétard		179,8
1894.	Blé d'Alsace	Grain	33,9
		Paille et balles	106,7
1895.	Avoine de Pologne	Grain	24,5
		Paille et balles	61,1
1896.	Pommes de terre jaunes de Hollande		138,1

Tous ces rendements sont élevés et montrent la grande efficacité des engrais expérimentés : notons quelques particularités intéres-

santes. Le tableau suivant donne la récolte de pommes de terre de 1896 comparée à celle de 1893.

Pommes de terre (jaune de Hollande) [1896].

Comparaison avec la récolte de la même variété en 1893

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	1896	1893
		kilogr.	kilogr.
I.	Témoin sans fumure	6 666	9 884
X.	Somme 75/80	17 771	24 516
XI.	Floride	16 572	21 314
III.	Ardennes	16 328	21 875
IX.	Portugal	15 232	20 478
II.	Somme 45/50	13 812	19 940
XII.	Scories Est	13 028	23 721
VI.	Cambrésis	12 798	25 809
XIII.	Scories anglaises	12 773	23 383
V.	Indre	12 472	21 726
IV.	Boulonnais	11 922	21 428
XIV.	Phosphate précipité	11 673	19 709
XV.	Superphosphate	11 126	15 739
XVI.	Témoin sans fumure	7 466	8 204

La différence énorme entre les rendements de la même variété de pommes de terre en 1893 et 1896 paraît devoir s'expliquer par l'épuisement des parcelles en potasse, la fumure verte (lupins et pois) ayant apporté au moins 80 kilogr. d'azote à l'hectare, et la quantité d'acide phosphorique contenu dans le sol étant encore considérable. C'est ce qui nous a engagés à donner, en 1897, les quantités de 200 et 400 kilogr. de potasse à l'hectare aux parcelles II à XV pour la culture de maïs.

Comparaison de la valeur fertilisante des engrais azotés

Les parcelles VII, VIII et XII ont porté, depuis la création du champ d'expériences, les récoltes suivantes :

1892	Pommes de terre.
1893	Pommes de terre.
1894	Blé d'Alsace.
1895	Avoine de Pologne.
1896	Pommes de terre.

Les fumures phosphatée (scories) et potassique (kaïnite) ont été les mêmes pour les trois parcelles.

Les parcelles VII et VIII ont reçu l'azote sous forme de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché (45 kilogr. d'azote à l'hectare en 1892 et 45 kilogr. en 1893).

La différence entre les rendements moyens de ces parcelles et celui de la parcelle XII (nitrate de soude) ne dépend donc que de l'état sous lequel l'azote a été donné. La comparaison des récoltes permet d'apprécier la supériorité du nitrate sur le sulfate d'ammoniaque et sur le sang desséché, dans les conditions où les expériences ont été faites.

Les rendements, rapportés à l'hectare, ont été les suivants :

		PARCELLES	
	XII — Nitrate de soude — q. m.	VII — Sulfate d'ammoniaque — q. m.	VIII — Sang desséché — q. m.
Pommes de terre (1)	628,90	533,40	431,02
Blé — Grain	34,22	30,73	28,53
Blé — Paille	76,35	64,37	57,28
Avoine — Grain	25,45	15,04	17,97
Avoine — Paille	63,20	42,88	56,23
Substance végétale totale produite.	828,12	686,42	591,03

Si l'on égale à 100 la récolte totale en substance végétale obtenue avec le nitrate, le poids de la récolte produite par le sulfate d'ammoniaque est représenté par 82,9 et celui de la récolte avec le sang desséché par 71,3.

C'est sans nul doute au labour très profond qu'il faut attribuer les rendements élevés des parcelles I et XVI, qui n'ont reçu aucune fumure, le terrain du champ d'expériences, défriché pendant l'hiver de 1891-1892, ayant été défoncé à la profondeur moyenne de 60 à 75 centimètres dans toute son étendue.

Le blé d'Alsace, qui a donné un haut rendement en grain, a fourni une proportion de paille et balles extrêmement élevée ; les éléments de comparaison nous manquent pour expliquer ce fait, bornons-nous

1. Ce chiffre exprime le poids des rendements et tubercules récoltés dans les trois années 1892, 1893 et 1896.

à rappeler que la récolte, le battage et les pesées ont été faits avec un soin minutieux.

La variété de pommes de terre Richter, cultivée en 1892, provenait de semences qui nous ont été fournies par un cultivateur du canton de Vaud ; hybride du Richter's Imperator et de la Gloire-du-Chili (?), cette variété a mal mûri sous le climat froid et humide du bois de Boulogne ; elle n'a pas donné un rendement aussi élevé qu'on aurait pu l'attendre. En 1893, la jaune de Hollande ayant donné, dans des conditions absolument identiques, un rendement sensiblement inférieur à celui de la Marjolin, nous avons renoncé à la plantation de cette dernière variété en 1896 pour nous en tenir à la jaune de Hollande dont les plantons nous ont été fournis par l'habile maraîcher de Groslay, M. Joseph Rigault.

Le fait le plus important qui résulte de la comparaison des récoltes de pommes de terre de 1893 et 1896 est la diminution très considérable dans le rendement de la jaune de Hollande (36 °/₀ en moyenne pour les quatorze parcelles). L'explication de cette diminution résultera très clairement de la discussion à laquelle nous allons soumettre les conditions relatives à la fumure du sol, comparée aux prélèvements des récoltes.

En appliquant aux chiffres qui représentent les rendements obtenus à l'hectare, de 1892 à 1896, on peut se faire une idée approchée des conditions dans lesquelles se trouvait la culture de la pomme de terre en 1896 et de celle où serait placée la récolte de 1897, si l'on ne lui fournissait pas de nouveaux éléments nutritifs. Examinons successivement à ce point de vue les diverses récoltes de pommes de terre et de céréales, en ce qui regarde la consommation d'azote, d'acide phosphorique et de potasse.

Pommes de terre

***Quantités enlevées par la récolte** (à l'hectare).*

Année 1892. — Variété Richter's-Eiffel :

	AZOTE — kilogr.	ACIDE phosphorique — kilogr.	POTASSE — kilogr.
Tubercules	84,6	39,8	144,3
Fanes	24,4	8,0	21,4
Totaux	109,0	47,8	165,7

	AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
	—	—	—
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Année 1893. — Jaune de Hollande :			
Tubercules	73,6	34,6	125,5
Fanes	21,2	6,9	18,6
Totaux	94,8	41,5	144,1
Année 1896. — Jaune de Hollande :			
Tubercules	47,0	22,1	80,0
Fanes	9,4	4,4	11,9
Totaux	56,4	26,5	91,9

Au total, pour les trois récoltes, les quantités d'azote, d'acide phosphorique et de potasse s'élèvent aux chiffres suivants, en observant qu'il n'y a pas lieu de tenir compte des quantités de ces principes contenus dans les fanes, ces dernières n'ayant point été enlevées, mais enfouies dans le sol, auquel elles ont restitué, en se décomposant, leurs matières utiles à la végétation.

Bilan de la culture des pommes de terre

	AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
	—	—	—
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Exportés par les récoltes 1892 et 1893.	205,2	96,5	349,8
Apportés par les fumures	90 »	300 »	200 »
Différences.	— 115,2	+ 203,5	— 149,8

Il résulte de cette comparaison que seul l'acide phosphorique de nos trois récoltes de pommes de terre a pu leur être fourni par la fumure ; plus de la moitié de l'azote et de la potasse qu'elles renferment ont été directement empruntés par elles aux matériaux azotés et potassiques du sol lui-même qui, malgré sa pauvreté relative, a pu suffire à l'abondante récolte des deux premières, provoquée sans nul doute par le large approvisionnement de la terre en acide phosphorique assimilable.

Pour la récolte de 1896, la potasse utilisable pour la pomme de terre a certainement fait défaut et c'est là qu'il faut chercher la cause de l'abaissement dans le rendement de la même variété, de 21 600 kilogr. à 13 800 kilogr. Nous avions déjà constaté, dans deux

parcelles du champ spécialement affectées aux essais sur l'action de la potasse, un résultat identique.

Au début (1892), l'une des parcelles avait reçu 200 kilogr. de potasse à l'hectare; l'autre, 100 kilogr. seulement; la première année, les rendements furent sensiblement égaux; à la deuxième récolte, ils étaient déjà notablement différents; la troisième année, dans la parcelle qui n'avait reçu que 100 kilogr. de potasse, la récolte en tubercules a été de 40 °/₀ inférieure à celle de la parcelle à 200 kilogr.

Examinons maintenant les emprunts faits au sol par nos deux récoltes de céréales. Voici les quantités de chacun des trois principes fondamentaux enlevés par le blé, en 1894, et par l'avoine qui lui a succédé en 1895.

		AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
		kilogr.	kilogr.	kilogr.
Blé	Grain	70,49	26,77	17,62
	Paille	5,12	4,27	8,96
	Total	75,61	31,04	26,58
Avoine	Grain	43,17	16,68	11,77
	Paille	3,42	1,71	9,95
	Total	46,59	18,39	21,72

L'approvisionnement du sol en acide phosphorique a été plus que suffisant pour permettre au blé et à l'avoine de donner les récoltes élevées de 34 quintaux et 24q,5 que nous avons constatées. L'avoine a été suivie d'une culture intercalaire de légumineuses, lupin et pois, qu'on a enfouie en vert et qui a apporté environ 100 kilogr. d'azote emprunté à l'atmosphère.

Si nous récapitulons les fumures et les exigences minérales des cinq récoltes du Parc des Princes, nous arrivons aux résultats suivants :

De 1892 à 1896.	AZOTE	ACIDE phosphorique	POTASSE
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Fournis au sol	265 [1]	300 »	200 »
Enlevés par les récoltes	327,4	145,9	379,2
Enrichissement ou appauvrissement du sol.	— 62,4	+ 154,1	— 179,2

1. 45 kilogr. sous forme de nitrate en 1892, 1893 et 1896; 15 kilogr. id. au blé et à l'avoine; 100 kilogr. d'azote fixé par les légumineuses. Soit, au total : $45 \times 3 + 30 + 100 = 265$ kilogr. d'azote.

Les éléments du sol auraient donc dû fournir, en supposant que la totalité de l'azote et de la potasse introduits par la fumure aient été utilisés par les plantes, ce qui ne saurait être, 62 kilogr. du premier de ces éléments et 179 kilogr. du second, tandis que les récoltes auraient laissé disponibles, pour l'avenir, 154 kilogr. d'acide phosphorique, c'est-à-dire près de la moitié de la quantité apportée à la terre par la fumure de tête, en 1892.

Quelques conclusions générales se dégagent de ce calcul de statique chimique ; on peut les formuler comme suit :

1° La fumure phosphatée, donnée au début, peut suffire encore à plusieurs récoltes ;

2° Par contre, il est indispensable de recourir dès aujourd'hui à un apport de potasse, si l'on veut ramener la fertilité du champ à ce qu'elle était il y a quatre ans ;

3° En ce qui concerne l'azote, l'emploi du nitrate de soude doit être continué, bien que, suivant toute apparence, la nitrification ait joué un rôle notable dans la production des céréales qui ont reçu 100 kilogr. seulement de nitrate de soude à l'hectare, soit la dose faible de 15 kilogr. d'azote ;

4° L'avantage qu'il y a à employer d'un coup une dose massive d'acide phosphorique ressort clairement de la comparaison des rendements en pommes de terre et en céréales du Parc des Princes avec ceux de terres réputées beaucoup plus fertiles.

C'est à l'introduction, dès le début, d'une quantité considérable d'acide phosphorique sous forme de scories ou de phosphate minéral que sont dus les hauts rendements constatés. On peut admettre, surtout en ce qui regarde l'acide phosphorique des phosphates minéraux, généralement considéré comme peu assimilable, que le cultivateur qui y a recours a tout intérêt à procéder par doses massives, afin d'assurer aux végétaux, dès la première année, une large alimentation en acide phosphorique leur permettant d'utiliser au maximum les autres éléments minéraux du sol. L'insuccès des phosphates minéraux peut, dans certains cas, dépendre de la trop faible quantité mise à la disposition des plantes. Comme on n'a rien à redouter du lavage des terres par les pluies au point de vue de l'entraînement de l'acide phosphorique, il est préférable d'appliquer

en une fois des quantités de scories ou de phosphate en poudre pour suffire à cinq ou six récoltes successives.

Nous nous proposons d'ailleurs d'instituer des expériences comparatives sur l'influence de quantités d'acide phosphorique à dose massive et à doses successives, devant atteindre la dose massive donnée la première année.

Le même raisonnement s'appliquerait à la potasse que le pouvoir absorbant du sol soustrait également à l'entraînement par la pluie. Si nous n'avons pas, en 1892, porté la dose de potasse à un chiffre supérieur à 200 kilogr. à l'hectare, c'est que nous voulions précisément étudier expérimentalement l'influence de l'appauvrissement successif du sol en ce principe, sur la production des pommes de terre. La dose convenable de potasse donnée en fumure de tête pour un assolement comprenant trois récoltes de pommes de terre en cinq ans, serait, à notre avis, pour un sol analogue à celui du Parc des Princes, de 500 kilogr. à l'hectare. Même avec cette quantité de potasse, la dépense de la fumure complète, répartie sur les cinq années, demeurerait inférieure à 100 fr. à l'hectare.

En 1897, les seize parcelles affectées aux essais permanents porteront du maïs-fourrage : elles auront reçu auparavant un complément de fumure potassique et du nitrate de soude. Il n'y sera pas introduit de nouvelle quantité d'acide phosphorique, les quantités de ce principe que renferme encore le sol étant largement suffisantes pour alimenter une nouvelle récolte.

La parcelle XXIX sera consacrée, en 1897, à l'étude expérimentale d'une question vivement débattue à l'étranger dans ces dernières années : celle de l'influence, sur leur valeur fertilisante, du degré de solubilité des scories dans le citrate d'ammoniaque acide préconisé par M. P. Wagner. Jusqu'à présent, nous demeurons absolument convaincus que la valeur vénale des scories doit être exclusivement établie sur leur teneur en acide phosphorique total et sur la finesse de la mouture. Le nombre des partisans de cette opinion va chaque jour en augmentant, et la vente des scories demeure basée, en France et en Belgique tout au moins, sur ces deux éléments d'appréciation et non sur leur solubilité dans le citrate.

C'est sur des expériences de laboratoire que repose jusqu'ici

l'affirmation contraire : nous avons pensé qu'il était utile de demander à des essais de pleine terre, sur une certaine échelle, une réponse décisive à cette question d'un intérêt très réel, tant pour l'agriculture que pour le commerce des engrais phosphatés.

SIXIÈME ANNÉE

Nature des fumures et récoltes en 1897.

Culture de maïs-fourrage. — En 1897, les parcelles I à XVI ont porté du maïs-fourrage (dent de cheval).

La parcelle XXIX a été consacrée à des essais sur les scories de déphosphoration de solubilité variable dans le citrate acide d'ammoniaque (réactif Wagner).

La diminution très marquée dans le rendement des pommes de terre, en 1896, comparativement à la production de la même variété (jaune de Hollande) en 1893, a paru devoir être attribuée en très grande partie à l'insuffisance de la fumure potassique qui n'a pas été renouvelée depuis la création du champ d'expériences (1892), et qui avait été de 1 571 kilogr. de kaïnite, correspondant à 200 kilogr. de potasse à l'hectare. On a décidé, en conséquence, de donner aux parcelles II à XV, en 1897, une nouvelle fumure potassique, sous la même forme qu'en 1892 (kaïnite), avant la semaille du maïs. Chacune des parcelles II à XV a été divisée en deux parties égales, dans le sens de la hauteur : la moitié de droite a reçu 400 kilogr. de potasse (à l'hectare), celle de gauche, moitié seulement (200 kilogr.).

Les parcelles II à VI et IX à XV ont reçu en même temps 45 kilogr. d'azote nitrique (300 kilogr. de nitrate à l'hectare).

Les parcelles VII et VIII, même dose d'azote, sous forme de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché, comme les années précédentes.

L'épandage des engrais a été fait quelques jours seulement avant la semaille. Des pluies abondantes, survenues dans la huitaine qui a suivi la semaille, ont entravé la levée.

Le maïs a été semé le 4 mai au semoir Smith, à 40 centimètres

d'écartement entre les lignes. On a employé 95 kilogr. de semence (à l'hectare).

Les 13 et 14 août on a fauché la récolte qui a été immédiatement pesée avant tout fanage des tiges. Le tableau suivant indique le rendement de chacune des moitiés des parcelles II et XV et celui des parcelles témoins I et XVI, sans fumure depuis l'origine. Les rendements sont rapportés à l'hectare.

Maïs-fourrages 1897

NUMÉROS des parcelles	NATURE DES PHOSPHATES	POIDS DE LA RÉCOLTE en kilogrammes		DIFFÉRENCE en faveur de la partie fumée à 200 kilogr. de potasse
		A 200 kilogr. de potasse	A 400 kilogr. de potasse	kilogr.
I	Témoin (sans fumure)	21,500		
II. . . .	Somme, 45/50	42,466	41,066	1,400
III . . .	Ardennes	50,533	45,000	5,533
IV . . .	Boulonnais.	48,066	44,135	3,931
V. . . .	Indre.	44,800	40,456	4,344
VI . . .	Cambrésis	47,466	46,600	866
VII . . .	Scories et sulfate d'ammoniaque.	47,000	42,493	4,507
VIII. . .	Scories et sang desséché	40,400	33,300	7,100
IX . . .	Portugal.	54,000	50,000	4,000
X. . . .	Somme, 75|80	56,733	54,466	2,267
XI . . .	Floride	54,333	51,400	2,933
XII . . .	Scories et nitrate	53,200	48,533	4,667
XIII. . .	Scories anglaises	49,270	46,200	3,070
XIV . . .	Phosphate précipité	46,533	45,930	603
XV . . .	Superphosphate, ...	44,133	43,333	800
XVI . . .	Témoin (sans fumure)	24,900		

Le rendement moyen à l'hectare des parcelles qui ont reçu 200 kilogr. de potasse est de . . . . 48 495 kilogr.

Celui des parcelles à 400 kilogr. de potasse est de. 45 208 —

Différence . . . . 3 287 kilogr.

en faveur des parcelles qui n'ont reçu que 200 kilogr. de potasse.

Ces résultats confirment l'influence fâcheuse, déjà signalée, de l'épandage de sels potassiques à haute dose peu de temps avant la

semaille, influence que nous voulions vérifier par une expérience directe.

Le rendement moyen des témoins est de 23 200 kilogr. à l'hectare, en diminution de 25 295 kilogr. sur les parcelles à 200 kilogr. de potasse et de 22 008 kilogr. sur celui des parcelles à 400 kilogr. L'excédent moyen des quatorze parcelles fumées, sur les témoins, est de 23 652 kilogr.; le rendement du sol à la fin de cette période de six années a donc un peu plus que doublé sous l'influence des engrais minéraux.

Influence des engrais azotés. — Comme les années précédentes, les parcelles VII et VIII ont été consacrées à comparer l'influence de la forme de l'azote de la fumure sur les rendements. Ces trois parcelles avaient reçu, en 1892, 300 kilogr. d'acide phosphorique à l'hectare, sous forme de scories de déphosphoration, et 200 kilogr. de potasse; en 1897, on leur a donné, ainsi que nous venons de le dire, 200 et 400 kilogr. de potasse à l'état de kaïnite. L'azote a été fourni au sol, comme précédemment, à la dose de 45 kilogr. à l'hectare, sous forme de nitrate, de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché (azote organique).

Les meilleurs résultats ont été obtenus, comme dans les cinq cultures précédentes, par l'emploi du nitrate de soude, ainsi que le montrent les comparaisons suivantes :

	NITRATE	
	200 kilogr. de potasse	400 kilogr. de potasse
	kilogr.	kilogr.
Parcelle XII (nitrate)	53,200	48,533
Parcelle VII (sulfate d'ammoniaque)	47,000	42,493
Différence en faveur du nitrate	6,200	6,040
Soit p. 100	11,65	12,44
Parcelle XII	53,200	48,533
Parcelle VIII (sang)	40,400	33,300
Différence en faveur du nitrate	12,800	15,233
Soit p. 100	24,06	31,4

Dans le sol du Parc des Princes, l'avantage est toujours resté au

nitrate dans la culture des céréales et des plantes sarclées, ainsi qu'on le constate en comparant la quantité totale de substance végétale produite dans les six années 1892-1897 (rendements à l'hectare) :

	PARCELLES		
	XII — Nitrate de soude — quint. mét.	VII — Sulfate d'ammoniaque — quint. mét.	VIII — Sang desséché — quint. mét.
Pommes de terre (1)	628,90	533,40	431,02
Blé. . . . Grain	34,22	30,73	28,53
Blé. . . . Paille	76,35	64,37	57,28
Avoine . . Grain	25,45	15,04	17,97
Avoine . . Paille	63,20	42,88	56,23
Maïs géant (2)	508,60	447,00	368,50
	1 336,72	1 133,42	959,53

Si l'on égale à 100 la production totale dans la parcelle XII nitratée, la production de la parcelle VII au sulfate d'ammoniaque est de 84,79 et celle de la parcelle VIII, au sang desséché, de 71,79 seulement.

Le nitrate a donc produit : par rapport au sulfate, un excédent de récolte de 15,21 °/₀ ; par rapport au sang desséché, 28,21 °/₀.

Les essais de culture de 1897 ont eu pour objet de chercher à déterminer la valeur agricole de l'acide phosphorique des scories de déphosphoration et du mode de fixation du prix de cette matière qui occupe, à côté des autres engrais phosphatés, une place importante dans la fumure du sol, car la consommation de l'agriculture française s'élève annuellement à environ 150 000 tonnes de scories. La question qui se pose, et sur laquelle les avis des agronomes sont encore partagés, est celle-ci : les scories de déphosphoration doivent-elles continuer à être vendues, ainsi que cela a lieu aujourd'hui à peu près partout (sauf dans certaines régions de l'Allemagne) d'après leur richesse en acide phosphorique total, ou bien, comme l'a proposé M. P. Wagner, faut-il en baser le prix sur leur teneur en acide phosphorique soluble

1. Poids des tubercules récoltés dans les trois années 1892, 1893 et 1896.

2. Moyenne des récoltes sur les parcelles de 200 et de 400 kilogr. de potasse.

dans un réactif particulier, le citrate d'ammoniaque acide? Pour faire saisir l'importance de cette question aux personnes qui ne font pas des applications de la chimie à l'agriculture leur étude spéciale, quelques indications précises sur les conséquences de la solution qu'on lui donnera ne seront sans doute pas inutiles.

La teneur en acide phosphorique des scories varie dans des limites comprises assez généralement entre 15 et 20 °/₀ de leur poids : c'est la teneur réelle de cet engrais en acide phosphorique, teneur déterminée par l'analyse et garantie sur facture par le vendeur, conformément à la loi du 4 février 1888, qui doit servir de base à la fixation du prix des 100 kilogr. de scories. Une partie seulement de cet acide phosphorique est soluble dans le citrate acide, au contact duquel on l'agite pendant une demi-heure : c'est d'après la teneur centésimale d'une scorie en cet acide soluble que MM. Wagner et Mærcker ont proposé de fixer le prix de l'engrais, la solubilité dans le citrate étant regardée par eux comme devant donner la mesure du degré d'assimilabilité et, partant, d'efficacité de l'acide phosphorique des scories.

S'il était démontré que la valeur agricole d'une scorie est proportionnelle à sa teneur en phosphate soluble dans le citrate acide, il est clair qu'on pourrait trouver dans le dosage de ce dernier une base équitable pour les transactions; encore faudrait-il tenir compte, dans la fixation du prix, de la quantité d'acide phosphorique insoluble dont la proportion atteint et dépasse même souvent le quart ou la moitié de l'acide soluble. Ce mode de vente entraînerait des difficultés pratiques, mais on arriverait à les vaincre, si l'équité exigeait qu'on l'adoptât pour sauvegarder à la fois les intérêts du vendeur et ceux de l'acheteur.

Le point capital c'est d'établir d'une façon précise si, oui ou non, la solubilité dans le citrate donne la mesure de l'utilisation du phosphate des scories pour les récoltes. Avant qu'on se décide à modifier la base des contrats, il faut trancher la question par des expériences culturales assez nombreuses, méthodiquement suivies et suffisamment prolongées. Ces expériences doivent être nombreuses, parce que l'action exercée par le sol sur ces matières fertilisantes est variable d'un terrain à un autre ; il faut qu'elles soient méthodiquement sui-

vies pour écarter, autant que possible, les causes d'erreurs; enfin il est nécessaire de les prolonger pendant un temps assez long pour qu'on puisse constater si, une proportion plus ou moins grande, la totalité peut-être, de l'acide phosphorique, insoluble au début de l'essai dans le citrate acide, ne se montrera pas aussi assimilable, au bout d'un certain temps, que l'aura été l'acide soluble.

Les essais physiologiques de culture que MM. Petermann et Graftiau poursuivent depuis deux ans à la station de Gembloux ont abouti à des conclusions opposées à celles que MM. Wagner et Mærcker ont déduites d'expériences faites par eux à Darmstadt et à Halle dans des conditions analogues(1). Les résultats des expériences instituées par les soins de Meiss directeur de la station de Vienne, sur un grand nombre de points du territoire autrichien, indiquent que la moitié environ de ces résultats ont accusé une égalité dans les rendements obtenus avec les scories riches ou pauvres en acide soluble au citrate. La question n'est donc point résolue et de nouvelles observations sont nécessaires.

Au printemps de 1897, nous avons institué au Parc des Princes des expériences qui devront être poursuivies pendant plusieurs années avant d'en tirer des conclusions fermes. Mais, dans la pensée de provoquer sur d'autres points du pays des essais du même genre, nous allons indiquer les conditions dans lesquelles nous nous sommes placés et les résultats de la première année d'expériences qui prouvent combien il est prudent d'attendre avant de modifier le régime d'achat des scories.

La parcelle XXIX du champ du Parc des Princes a été consacrée à des essais comparatifs de scories de titres très différents en acide phosphorique total et en acide phosphorique soluble. Cette parcelle n'avait pas reçu de fumure phosphatée depuis six ans. En 1896, on ne lui avait donné aucun engrais; elle se trouvait donc dans des conditions favorables à l'étude de l'influence de l'acide phosphorique sur la récolte.

Dans les derniers jours d'avril 1897, on a délimité, dans la grande

1. Voir les expériences de Wagner, décrites, pp. 36 et suiv., t. I, 1897, et p. 432, t. II, 1897, des *Annales de la Science agronomique*.



parcelle XXIX[1], quatre parcelles de superficie égale. Nous les désignerons pour simplification par les lettres A, B, C, D. Chacune d'elles a reçu avant le labour lés quantités suivantes, rapportées à l'hectare, d'acide phosphorique, d'azote et de potasse :

Acide phosphorique.	150 kilogr.
Potasse [2]	200 —
Azote [3]	45 —

Les scories qui ont servi à donner l'acide phosphorique à ces quatre parcelles ont été choisies, à dessein, de teneurs très différentes en acide phosphorique soluble au citrate ; le tableau ci-dessous indique la richesse centésimale en acide phosphorique total et la teneur en acide phosphorique soluble au citrate ; la troisième colonne fait connaître la proportion centésimale d'acide soluble rapportée au taux d'acide total :

	ACIDE PHOSPHORIQUE		RAPPORT de l'acide soluble à l'acide total
	total	soluble au citrate	
	—	—	—
Parcelle A.	21,12	7,93	37,50
— B.	13,44	7,55	56,17
— C.	18,69	12,41	66,39
— D.	18,30	16,51	90,20

On a choisi, pour la plantation de ces parcelles, trois plantes appartenant à des familles végétales différentes : une graminée, maïs-caragua ; une légumineuse, haricots d'Alger ; une solanée, une pomme de terre (prince-de-Galles). Un tiers de chaque parcelle a été consacré à chacune de ces plantes. Le principe essentiel à tout essai de ce genre, à savoir qu'il ne faut faire varier qu'une seule des conditions de l'expérience, a été appliqué. Chacune des parcelles ayant reçu même quantité d'acide phosphorique total, d'azote et de potasse, la seule condition variable a été la proportion d'acide phosphorique soluble apporté par la scorie. L'écart entre les teneurs extrêmes des scories et ce composé était très grand : 52,7 %.

1. Voir le plan du champ dans le tome I (2e fascicule) 1905 de ces *Annales*.
2. Sous forme de kaïnite.
3. A l'état de nitrate de soude.

[90,2 °/₀ — 37,5 °/₀]; on pouvait donc s'attendre, si la relation établie par MM. Wagner et Mærcker entre la solubilité et l'assimilabilité du phosphate est réelle, à trouver des différences considérables dans les récoltes des trois plantes.

Le tableau ci-dessous indique les résultats des pesées faites immédiatement après l'enlèvement de la récolte de chaque plante (les récoltes sont calculées à l'are) :

		RÉCOLTES		
		Haricots	Pommes de terre	Maïs-fourrage
		kilogr.	kilogr.	kilogr.
Parcelle A.	37,50 °/₀ soluble.	70 »	158,2	514
— B.	56,17 —	68,4	184,3	555
— C.	66,39 —	65,6	203,6	647
— D.	90,20 —	104,2	246,3	672
Témoins sans engrais.		27,8	78,3	361

Le premier fait qui ressort de la comparaison de ces chiffres, c'est la diversité des écarts que présentent les poids des récoltes suivant la nature de la plante cultivée. Examinons-les rapidement.

Haricots : la parcelle A a fourni, malgré le titre peu élevé de la scorie en acide phosphorique soluble, une récolte supérieure à celles de chacune des parcelles B et C : l'influence du taux d'acide soluble ne s'est manifestée, pour cette légumineuse, que dans la parcelle D, fumée avec une scorie à 90 °/₀ de soluble.

Pour la *pomme de terre* et pour le *maïs géant*, les choses se sont passées différemment : les rendements des parcelles ont été plus élevés à mesure que le taux de la scorie en acide soluble dans le citrate l'était lui-même, résultat qui semblerait favorable à l'opinion de P. Wagner. Mais si la présence d'acide soluble a coïncidé pour le maïs et pour la pomme de terre avec l'élévation des rendements, contrairement à ce qui s'est produit pour les haricots, il s'en faut que l'accroissement des récoltes ait été *proportionnel* à l'augmentation du titre en acide soluble des scories employées ; c'est ce que montre nettement le tableau suivant, dans lequel, prenant pour unité (égale à 100), les récoltes de haricots, de pommes de terre et de maïs obtenues dans la parcelle D, qui a reçu la scorie la plus riche en phosphate soluble (90,2 °/₀), se trouve indiqué le rapport centésimal

des teneurs des autres scories en acide soluble et celui des récoltes correspondantes :

		RÉCOLTES		
		Haricots	Pommes de terre	Maïs
		—	—	—
Parcelle D. . .	Scories à 90,20 °/₀	100 »	100 »	100 »
— C. . .	— à 66,39	62,9	82,6	96,2
— B. . .	— à 56,17	65,6	74,8	82,6
— A. . .	— à 37,50	67,2	64,2	76,4

On est autorisé d'après cela à conclure que, même dans la première année de fumure, il n'y a entre la composition des scories et les récoltes qu'elles fournissent, aucune corrélation étroite à établir entre la solubilité de l'acide phosphorique au citrate acide et son assimilation par la plante.

Pour les haricots, la scorie à 37,50 °/₀ de soluble a donné une récolte plus élevée que la scorie à 66,4 °/₀. Pour le maïs, un écart de 23,8 °/₀, soit près du quart dans la teneur des scories des parcelles D et C, n'a produit qu'un excédent de récolte de 3,8 °/₀.

On est donc en droit de conclure qu'il n'y a pas lieu de modifier la base adoptée jusqu'ici pour l'achat des scories, et qu'il est prudent de s'en tenir à la fixation du prix d'après la teneur en acide phosphorique, en exigeant une garantie de finesse de mouture. Il ne faut pas d'ailleurs oublier que les scories à faible teneur en acide phosphorique soluble au citrate sont de beaucoup les moins nombreuses, au moins dans les produits des aciéries qui alimentent l'agriculture française. Les analyses accusent presque toujours 60 à 65 °/₀ d'acide phosphorique soluble, et très souvent 70 à 80 °/₀ et au-dessus.

Il n'y a donc, pour l'instant, rien de mieux à faire que de poursuivre expérimentalement l'étude de la question.

Comparaison des engrais phosphatés.

Quand on se trouve en présence de divergence dans les résultats culturaux observés par des expérimentateurs également habiles et consciencieux, il faut se garder, pour expliquer ces différences, d'invoquer, dans l'ignorance où nous sommes de leurs causes, la

possibilité d'exceptions qui, suivant le vieil adage, confirmeraient la règle : il n'y a pas d'exceptions, à proprement parler, dans les phénomènes naturels; il n'y a que des différences dans les conditions qui accompagnent la production des phénomènes. C'est à définir ces conditions qu'il faut s'attacher, afin d'en déduire les règles sur lesquelles le praticien devra s'appuyer. L'expérience seule peut conduire à la solution.

Dans son admirable *Introduction à la médecine expérimentale,* Claude Bernard, auquel on doit la démonstration éclatante de cette vérité, a posé le principe scientifique du *déterminisme,* dans des termes dont ne sauraient trop se pénétrer les expérimentateurs et en particulier les agronomes :

« Il faut admettre, dit-il, comme un axiome expérimental que chez les *êtres vivants aussi bien que dans les corps bruts, les conditions d'existence de tout phénomène sont déterminées d'une manière absolue.* Ce qui veut dire, en d'autres termes, que la condition d'un phénomène une fois connue et remplie, le phénomène doit se reproduire toujours et à la volonté de l'expérimentateur. La négation de cette proposition ne serait rien autre chose que la négation de la science même. En effet, la science n'étant que le déterminé et le déterminable, on doit forcément admettre comme axiome que, dans des conditions identiques, tout phénomène est identique et qu'aussitôt que les conditions ne sont plus les mêmes, le phénomène cesse d'être identique. Ce principe est absolu, aussi bien dans les phénomènes des corps bruts que dans ceux des corps vivants et l'influence de la vie, quelle que soit l'idée qu'on s'en fasse, ne saurait rien y changer. »

Les divergences d'opinion touchant la valeur alimentaire pour la plante de telle ou telle matière fertilisante, la difficulté de prévoir et d'évaluer à l'avance l'action des engrais sur les récoltes n'ont pas d'autre cause que l'ignorance, où nous sommes presque toujours, du déterminisme des conditions naturelles en face desquelles se trouve placé l'agriculteur.

Les facteurs de la production végétale, de même que ceux de la fertilité d'une terre, sont nombreux et variables d'une plante et d'un sol aux autres. L'expérience directe fondée, d'une part, sur la con-

naissance expérimentale aussi complète que nous pouvons l'acquérir des propriétés physiques et chimiques de la terre arable, de l'autre sur les exigences en principes nutritifs de la plante qu'on y veut cultiver. Voilà les éléments qui nous permettront, en tenant compte de la composition et de l'état des matières fertilisantes, de décider de la meilleure application à faire de ces dernières.

En ce qui touche les exigences minérales des plantes, nous sommes assez avancés pour prévoir les quantités de chacun des aliments que nous devons leur fournir pour obtenir des récoltes maxima. Si toutes les terres en culture avaient une constitution et une composition chimique identiques, le problème des hauts rendements serait singulièrement simplifié. Malheureusement, il n'en est point ainsi, et les cultivateurs sont en présence des sols les plus variés et dans lesquels les mêmes substances fertilisantes ne sont pas mises de la même manière à la disposition du végétal, d'où résultent des divergences parfois très considérables dans les rendements. Ces divergences ne sont point imputables au hasard; elles tiennent à l'absence de déterminisme des conditions de la végétation dans des sols différents et diversement fumés.

Ces réflexions s'appliquent tout particulièrement à l'étude du rôle de l'acide phosphorique dans la végétation; des expériences multipliées dans des conditions bien définies et suffisamment prolongées pourront seules nous éclairer. On ne saurait trop encourager les agriculteurs à les tenter.



Jetons maintenant un coup d'œil sur les poids bruts de substance végétale récoltés en six ans, sous l'influence des divers engrais phosphatés.

La seule condition variable des essais dans les cultures a été la nature ou l'origine de l'acide phosphorique donné au sol en quantités égales. Nous aurons, d'après cela, une vue d'ensemble sur les résultats obtenus, en les groupant sous quatre chefs : 1° phosphates minéraux ; 2° scories de déphosphoration ; 3° superphosphate ; 4° phosphate précipité.

Si l'on additionne les poids des six récoltes successives du Parc des Princes, en les rapportant à l'hectare, c'est-à-dire le nombre moyen de quintaux de pommes de terre (tubercules) [1], de grains, de paille (blé et avoine) et de maïs vert produits, de 1892 à 1897, et que l'on compare la somme trouvée à celle des récoltes fournies par les parcelles sans fumure durant la même période prise pour unité, voici les chiffres auxquels on arrive :

NATURE DES FUMURES	POIDS des récoltes par année moyenne à l'hectare	RAPPORTÉES à la récolte des témoins égale à 100
—	—	—
	quint. mét.	
Sans fumure.	61,3	100
Phosphates minéraux	132,6	216
Scories de déphosphoration . .	131,5	214
Phosphate précipité	116,6	190
Superphosphate.	114,0	186
Moyennes.	123,7	201

De la comparaison de ces chiffres résulte la constatation de deux faits importants par les conséquences qu'ils peuvent avoir pour la mise en valeur et la culture des sols pauvres. On voit d'abord qu'une fumure dont le coût, par année moyenne, est inférieur à 100 fr. par hectare, ainsi que nous l'établissons plus loin, a plus que doublé, dans l'ensemble des cultures, les rendements du sol. En second lieu, dans le sol du Parc des Princes, *tous* les engrais phosphatés ont très largement contribué, quelle que soit leur nature, à l'accroissement des rendements, bien que les phosphates minéraux et les scories, dans cette terre siliceuse, pauvre en chaux, l'aient emporté sur les superphosphates et sur le phosphate précipité, résultat concordant avec les faits observés jusqu'ici dans des conditions analogues. *Tous* les engrais phosphatés se sont montrés très rémunérateurs.

Quelles ont été, dans cette période de six années, les quantités d'acide phosphorique, de potasse et d'azote consommées par les récoltes des parcelles fumées et par celles des cultures sans fumures? D'après les différences constatées dans cette comparaison,

1. Fanes non comprises qui ont fait retour au sol.

quelles quantités de principes minéraux ont servi à constituer les excédents de récolte dus à la fumure? Il suffit, pour obtenir des indications générales à ce sujet, de comparer les quantités d'acide phosphorique, de potasse et d'azote introduites dans le sol à celles des mêmes principes décelées par l'analyse dans les récoltes. Pour l'acide phosphorique et la potasse, les comparaisons peuvent être considérées comme rigoureuses, le sol étant la source unique de ces substances pour la végétation. En ce qui regarde l'azote : d'une part, la faculté qu'ont les végétaux d'en puiser dans l'air, soit directement, soit indirectement par l'apport des eaux météoriques, une quantité indéterminée, de l'autre, l'entraînement partiel de l'azote nitrique dans le sous-sol, par les pluies, ne permettent pas l'établissement d'un bilan aussi exact.

De 1892 à 1897, les poids d'acide phosphorique de potasse et d'azote contenus dans l'ensemble des récoltes ont été, en nombres ronds, les suivants (rapportés à l'hectare) :

	ACIDE phosphorique — kilogr.	POTASSE — kilogr.	AZOTE — kilogr.
Récoltes fumées	212	677	460
Récoltes sans fumure	111	351	246
Dans les excédents de récolte	101	326	214

Suivant toute apparence, les excédents d'acide phosphorique, de potasse et d'azote des récoltes fumées ont dû être empruntés aux engrais. Si l'on admet cette hypothèse très vraisemblable, la différence entre les quantités des trois principes fertilisants qu'a reçus le sol et celle que les excédents de récolte renfermaient, indiquerait les poids de chacun d'eux restant à la disposition des récoltes antérieures :

	ACIDE phosphorique — kilogr.	POTASSE — kilogr.	AZOTE — kilogr.
Fumures données	300	400 [1]	210
Enlevés par les excédents de récolte	101	326	214
Différences	+ 199	+ 74	— 4

1. 200 kilogr. en 1892 et 200 kilogr. en 1897.

Il résulte de cette comparaison que le sol du parc des Princes contenait encore, à la fin de l'année dernière, un approvisionnement notable en acide phosphorique importé en 1892 et une réserve beaucoup moindre en potasse ; les quantités d'azote exportées ont été sensiblement égales à celles que la terre a reçues, sous forme de nitrate de soude, pendant les six années de culture, la part due au rôle de l'azote atmosphérique n'étant pas susceptible d'évaluation.

On a donc, d'après cela, plus que doublé, de 1892 à 1897, les rendements du champ et accru notablement la teneur du sol en principes minéraux. Avec quelle dépense ces résultats ont-ils été obtenus et quelle a été, sur le prix de revient des récoltes, l'influence de la fumure ? Ces deux points ont une importance capitale pour les cultivateurs désireux d'améliorer un sol pauvre à l'aide des fumures minérales.

Établissons d'abord la dépense par année moyenne et par hectare, occasionnée par les fumures : nous ferons ensuite le compte des engrais pour chacune des cultures.

Le prix d'achat du kilogramme d'acide phosphorique a varié de 23 cent., dans les phosphates minéraux, à 25 cent. dans les scories, à 35 cent. dans le phosphate précipité et à 45 cent. dans le superphosphate.

Les 300 kilogr. d'acide phosphorique répandus en 1892 ont donc coûté, suivant qu'ils étaient fournis par l'une ou l'autre de ces matières phosphatées : 69 fr. 75, 105 fr. et 150 fr., ce qui correspond, par année moyenne, à 11 fr. 50, 12 fr. 50, 17 fr. 50 et 25 fr. à l'hectare, mais, pour simplifier l'exposé du résultat général de nos essais, n'admettons que deux prix pour les engrais phosphatés : 25 cent. et 50 cent. l'unité, soit une dépense initiale de 75 fr. et de 150 fr. à l'hectare pour la fumure phosphatée. Bien que les récoltes n'aient enlevé de 1892 à 1897, nous venons de le voir, que le tiers de l'approvisionnement donné au sol en acide phosphorique, nous affecterons entièrement la dépense à ces six années, ce qui, en augmentant notablement le prix de revient des excédents de récolte, donnera d'autant plus de force aux déductions économiques que nous tirerons des résultats obtenus.

Répartie sur les six années, la dépense en acide phosphorique a



donc varié de 12 fr. 50 à 25 fr. à l'hectare. La potasse, dans la kaïnite, est revenue à 45 cent. le kilogramme ; soit, pour 200 kilogr., 90 fr., ou 15 fr. par année moyenne (pour chacune des six récoltes) (1). Enfin les 210 kilogr. d'azote nitrique, consommés en six ans, représentent au prix de 1 fr. 60 le kilogramme (2) une dépense de 336 fr., soit par hectare et par année moyenne, 56 fr. En récapitulant ces données, on arrive à l'évaluation suivante pour la dépense moyenne annuelle, par hectare :

	CAS des scories et des phosphates minéraux	CAS des superphosphates
Acide phosphorique	12,50	25
Potasse	15 »	15
Azote	56 »	56
Totaux	83,50	96

Quelle a été la rémunération de cette dépense de moins de 100 fr. à l'hectare ? C'est ce que va nous montrer l'évaluation du prix vénal des excédents de rendement qu'elle a produits, dans chacune des années écoulées de 1892 à 1897. Commençons par la pomme de terre.

1892. — **Pomme de terre industrielle Richter.** — La récolte a varié de 24 950 kilogr. à 25 210 kilogr. à l'hectare, valant 4 fr. 50 les 100 kilogr. Les excédents de rendement, par rapport aux récoltes des parcelles non fumées, ont été les suivants :

	POIDS de l'excédent	VALEUR en argent
	kilogr.	francs
1. Phosphates minéraux	14 432	649,50
2. Scories de déphosphoration	13 320	599,40
3. Superphosphate	14 470	651,15
4. Phosphate précipité	13 120	590,04

1. Cette quantité de potasse s'est montrée trop faible pour la troisième récolte de pommes de terre ; nous y reviendrons en étudiant la récolte de 1896.

2. Ce qui suppose les 100 kilogr. de nitrate de soude à 24 fr., prix très supérieur aux cours actuels (1897).

Le coût exact de la fumure, qui comportait 300 kilogr. de nitrate, était de 98 fr. 50 pour la parcelle n° 1, de 99 fr. 50 pour le n° 2, de 112 fr. pour le n° 3 et de 104 fr. 50 pour le n° 4. Le bénéfice et le prix de revient des excédents, dus à la fumure, ressortent donc aux chiffres suivants :

	VALEUR des excédents		FUMURE		BÉNÉFICES	PRIX de revient du quintal d'excédent
	francs		francs		francs	francs
1. Phosphates minéraux	649,50	—	98,50	=	551 »	0,682
2. Scories	599,40	—	99,50	=	499,90	0,747
3. Superphosphate	651,15	—	112 »	=	539,15	0,774
4. Phosphate précipité	590,04	—	104,50	=	485,54	0,796

1893. — **Pommes de terre culinaires (Jaune de Hollande).** — Un calcul identique conduit, pour la deuxième récolte de pommes de terre, estimée au prix très modique de 6 fr. les 100 kilogr., aux résultats suivants :

	VALEUR des excédents	PRIX de revient des 100 kilogr.
	francs	francs
1. Phosphates minéraux	727,10	0,716
2. Scories	735,10	0,715
3. Superphosphate	524,76	1,057
4. Phosphate précipité	608,90	0,878

On voit donc que, dans le cas qui s'est montré le moins favorable (superphosphate en 1893), le bénéfice résultant de la fumure, c'est-à-dire la valeur des excédents, a été encore de 468 °/₀ de la dépense en engrais, et que le prix de revient du quintal, vendu 6 fr., a excédé à peine 1 fr., soit le sixième de la valeur du produit. Ces exemples, que nous compléterons par l'appui des résultats tout aussi favorables obtenus dans la culture du blé, de l'avoine et du maïs-fourrage, sont la justification manifeste des conseils que nous avons toujours donnés aux cultivateurs, en les engageant à ne pas s'arrêter à la hausse des engrais phosphatés pour en ajourner l'emploi. Il ressort, en effet, clairement de ces exemples qu'une différence dans le coût de la fumure, de 12 à 15 fr. à l'hectare, écart maximum pouvant résulter de la hausse des phosphates sur les prix des dernières

années, ne correspond pas, dans le cas de la fumure la plus chère (superphosphate), à 3 °/₀ de la valeur de l'excédent de rendement (15 fr. pour un produit net de 525 fr. = 2 fr. 85 °/₀).

On ne saurait donc trop répéter aux cultivateurs qu'il est de leur intérêt le mieux entendu de faire au sol l'avance la plus large possible en matières fertilisantes ; ils trouveront dans les excédents de rendement qui en résulteront une rémunération dont ils n'auront qu'à s'applaudir.

*
* *

Le bénéfice sur un produit quelconque résulte, en agriculture comme dans toute industrie, de l'écart entre la valeur vénale et le prix de revient de ce produit.

Les éléments du prix de revient sont extrêmement complexes ; ils varient d'un lieu à l'autre avec la valeur de la matière première, les salaires, etc., etc. Il n'est pas possible d'établir, avec quelque chance d'être dans le vrai, un prix de revient moyen d'une denrée quelconque, applicable à un pays tout entier.

Le loyer de la terre, les charges qui pèsent sur elle, sa fertilité naturelle ou acquise au moment où l'on en entreprend l'exploitation, le capital à engager pour l'outillage, le bétail, la culture et la fumure présentent, suivant les régions et, souvent, d'une exploitation à une autre dans le même département, quand ce n'est pas dans la même commune, des différences considérables. Il suit de là qu'on ne saurait déduire du rapprochement et de la combinaison de ces divers éléments un chiffre qui représente pour le pays entier le coût de production du quintal de blé ou de viande, du litre de lait, de la tonne de fourrage ou de fumier.

Les affirmations relatives à un prix de revient moyen du blé, si souvent apportées à la tribune du Parlement, au cours des discussions sur les droits protecteurs, ne peuvent avoir la valeur qu'on voulait leur attribuer. Fixer à 25 fr., comme beaucoup d'orateurs l'ont fait, le prix de revient moyen du quintal de froment en France, ce qui amène logiquement à conclure que tous les cultivateurs sont en perte lorsque le cours du marché est inférieur à ce chiffre, c'est

à coup sûr une erreur. Une pareille généralisation est fautive. N'est-il pas évident, en effet, pour n'en donner qu'un exemple, que les cultivateurs qui, en 1896, ont obtenu, les uns, dans le Nord, 25 quintaux en moyenne, les autres, dans le Var et le Gard, 4 à 5 quintaux seulement, n'ont pas produit au même prix les 100 kilogr. de froment, quelque différents qu'aient été les frais de production? On ne se tromperait pas moins lorsque, partant de ce prix de revient hypothétique de 25 fr., on chercherait dans l'établissement des droits de douane une compensation aux charges, différentes d'un pays à l'autre, que supporte l'agriculteur. Qui d'ailleurs pourrait établir la quotité de ces charges et, par suite, la compensation à leur donner?

D'autre part, s'il était vrai que le prix de revient moyen du quintal de blé est, en France, de 25 fr., on devrait en conclure qu'en 1896, avec une récolte de 93 millions de quintaux qui nous a permis d'être, pour la première fois, exportateurs, le prix moyen général du quintal sur le marché français n'ayant atteint que 18 fr. 53, l'agriculture s'est trouvée en perte de 600 millions de francs, rien que sur sa production en froment!

Nous ne pensons pas qu'il se trouve personne pour soutenir qu'il en a été ainsi. La seule conclusion à retenir de ces remarques, c'est l'impossibilité de fixer, même dans des limites étendues, un prix de revient unique du quintal de blé. Cette fixation n'aurait d'ailleurs, à supposer qu'elle fût possible, qu'un intérêt de curiosité, chaque cultivateur devant, par la force des choses, en raison des variations considérables des situations, arriver à produire 100 kilogr. de blé — comme des autres denrées agricoles — à des prix de revient essentiellement différents. Ce qui importe, c'est de rechercher les moyens d'abaisser le prix de revient des produits du sol et d'en vulgariser la connaissance par des indications précises, à la portée des plus modestes cultivateurs. C'est la tâche que nous poursuivons depuis trente ans.

L'augmentation *économique* des rendements d'une surface donnée est là condition fondamentale de la diminution du prix de revient des produits du sol. Cette augmentation économique, réalisable à divers degrés, partout où les conditions physiques de la terre et le climat n'y mettent pas obstacle, dépend de divers facteurs que l'on peut

ramener à trois principaux : les opérations culturales, labours, mode de semailles, hersages, etc. ; le choix des semences et la fumure. Le rendement maximum est obtenu par le concours simultané de ces facteurs. Continuons l'exposé et la discussion des résultats de six années de culture expérimentale au parc des Princes.

Nous avons examiné l'influence des diverses fumures phosphatées sur le rendement et sur le prix de revient de la pomme de terre industrielle et culinaire (essais des années 1892 et 1893). Arrivons à l'année 1894, où le champ d'expériences a porté du blé roux hâtif d'Alsace, semé en ligne le 12 octobre 1893, à raison de 133 kilogr. à l'hectare et récolté le 18 juillet 1894. A la fumure fondamentale en phosphate et potasse, donnée en 1892, on a ajouté un nitratage à la volée, le 28 mars 1894, à la dose de 15 kilogr. d'azote (100 kilogr. de nitrate de soude à l'hectare). Le sol avait été débarrassé par deux cultures successives de pommes de terre (en 1892 et 1893) de toutes les mauvaises herbes : il était parfaitement propre. Les rendements en blé et en paille ont été très élevés, allant, pour le grain, de 27 à 43 quintaux à l'hectare ; pour la paille, de 89 à 148 quintaux.

Comme nous l'avons fait à propos des pommes de terre, nous grouperons les rendements en blé en quatre catégories, suivant la nature des engrais phosphatés, seule condition variable d'une parcelle à l'autre, tout le champ ayant reçu même quantité de potasse et de nitrate et même dose d'acide phosphorique d'origines différentes. Le coût des fumures pour chacune des catégories d'essais a été le suivant (1) :

	A L'HECTARE
Phosphates minéraux	51,50
Scories de déphosphoration.	51,50
Superphosphate	64,00
Phosphate précipité.	58,50

N'envisageons ici que les excédents de récoltes obtenus par l'in-

1. Les prix s'établissent sur les bases suivantes : pour les quatre séries d'expériences : 100 kilogr. de nitrate à 24 fr. et 33^{kg},3 de potasse à 45 cent. (15 fr.) ; pour les deux premières séries, 50 kilogr. acide phosphorique à 25 cent., soit 12 fr. 50 ; pour le superphosphate, 50 kilogr. acide phosphorique à 50 cent., soit 25 fr. ; pour le phosphate précipité, 50 kilogr. acide phosphorique à 39 cent., soit 19 fr. 50.

fluence de la fumure (différences avec le rendement des parcelles témoins).

Ces excédents ont été les suivants pour chacune des catégories d'engrais phosphatés :

NATURE DE LA FUMURE	EXCÉDENTS A L'HECTARE	
	grain	paille
	quint. métr.	quint. métr.
Phosphates minéraux. . . .	14,71	42,34
Scories de déphosphoration. .	13,58	38,07
Superphosphate	14,57	30,22
Phosphate précipité.	8,06	24,20

Comme dans les cultures de pommes de terre des années précédentes, les phosphates minéraux, les scories et le superphosphate ont produit des excédents de rendement, sur le sol sans fumure, à la fois très élevés et presque égaux. Le phosphate précipité s'est montré sensiblement inférieur aux autres formes d'acide phosphorique, bien que son action ait encore été marquée par une production supplémentaire de 8 quintaux de grain et de 24 quintaux de paille.

Il est aisé, en rapprochant du coût des engrais le nombre et la valeur vénale des quintaux de grain et de paille, d'évaluer le bénéfice résultant de la fumure et le prix de revient, réel cette fois, des 100 kilogr. de blé fournis en excédent sur la récolte du sol naturel non fumé. Admettant pour le quintal de grains le prix de vente de 20 fr., et pour la paille celui de 3 fr., la valeur des quatre récoltes s'établit comme suit :

	PHOSPHATES minéraux	SCORIES	SUPER-PHOSPHATE	PHOSPHATE précipité
	francs	francs	francs	francs
Grain	294,20	271,60	291,40	161,20
Paille	127,02	114,21	90,66	72,60
Totaux. . . .	421,22	385,81	382,06	233,80
A retrancher [1] . .	51,50	51,50	64 »	58,50
Restant . . .	369,72	334,31	318,06	175,30

qui représentent le bénéfice net résultant de l'action des engrais.

1. Coût des fumures.

La relation entre la dépense de fumure et la valeur vénale des excédents de récolte qui en a été la conséquence, montre combien est avantageux le placement que fait le cultivateur en donnant à ses terres un approvisionnement rationnel en substances fertilisantes. Les excédents de rendement ont produit pour une avance de 100 fr. en engrais : phosphates minéraux, 737 fr. ; scories, 649 fr. ; superphosphates, 530 fr. ; phosphates précipités, 299 fr. Dans ce dernier cas, de beaucoup le moins favorable, c'est encore un placement à 300 °/₀ que représente la fumure.

Envisageons maintenant le prix de revient des excédents. Des très nombreuses expériences que nous poursuivons depuis plus de vingt-cinq ans, tant dans nos champs d'essais que dans un domaine de grande étendue, nous avons tiré la conclusion que l'on peut couramment produire un quintal de blé avec sa paille, *en excédent sur la récolte du même sol non fumé,* avec une dépense de 4 à 8 fr., en engrais convenablement choisis. Cette affirmation, maintes fois revenue sous notre plume dans notre longue campagne de propagande, nous a valu parfois, de la part de certains publicistes, des critiques aussi acerbes que mal fondées. Dénaturant, volontairement ou non, la lettre et le sens de notre assertion, on nous a fait dire que nous prétendions produire du blé au prix moyen de 5 fr. le quintal ; il s'est même trouvé des associations agricoles et des commissions départementales pour nous *sommer* de réaliser cette utopie sur des exploitations mises gratuitement à notre disposition. En leur temps, nous avons répondu à ces attaques lorsqu'elles n'étaient pas trop discourtoises, mais nous avons repoussé les sommations qui nous étaient faites, nos détracteurs confondant, à plaisir, le prix de revient d'une récolte de blé prise dans son ensemble en un point quelconque du territoire et celui des quintaux de froment que l'on peut obtenir en excédent sur le rendement d'un sol sans fumure ou insuffisamment fumé. Nous verrons, tout à l'heure, quelle peut être la diminution du prix de revient de toute une récolte de blé et non plus seulement de l'excédent, sous l'influence de la fumure.

C'est du prix de revient des excédents seuls que nous avons jamais parlé, et nous allons montrer, par les résultats de notre culture de 1894 au parc des Princes, combien est fondée l'assertion relative à

la production d'un quintal de blé avec sa paille à un prix inférieur à 6 fr. C'est là le point essentiel dont nous voudrions que nos cultivateurs pussent se convaincre par des expériences instituées par eux dans leurs propres champs.

Dans les quatre conditions de fumures rapportées plus haut, le prix de revient du quintal de blé, en excédent, s'obtiendra en divisant respectivement le coût de la fumure par le nombre de quintaux qui dépasse le rendement des parcelles témoins sans engrais ; on aura ainsi :

Pour les phosphates minéraux . . $\frac{51^f,50}{14,71} = 3^f,50$

Pour les scories. . . . . $\frac{51^f,50}{13,58} = 3^f,79$

Pour le superphosphate. . . . . $\frac{64^f}{14,57} = 4^f,39$

Pour le phosphate précipité . . . $\frac{58^f,50}{8} = 7^f,31$

C'est donc au-dessous de 5 fr. que, du fait de la fumure seul, peut s'abaisser le prix de revient des quintaux de grain (avec leur paille) obtenus en excédent. C'est là tout ce que nous avons voulu prouver.

Quelle influence un semblable résultat peut-il exercer sur le produit net d'un hectare de blé ? Pour les raisons que nous avons données, la question ainsi posée n'est pas susceptible d'une réponse applicable aux emblavures de tout un pays, mais on peut cependant s'en faire une idée à l'aide d'un exemple choisi dans des conditions bien déterminées.

La comptabilité de l'école Mathieu-de-Dombasle nous a permis, il y a quelques années, d'établir le coût de la culture du blé à Tomblaine [1]. Nous étions arrivés, M. Thiry et nous, à en fixer le montant (fumure non comprise) à 268 fr. par hectare. Ce chiffre comprend le loyer de la terre, les frais de culture et de récolte et les frais généraux ; il est plutôt supérieur à la dépense moyenne dans une exploitation de Lorraine bien tenue. La production du blé dans des terres analogues à celle à laquelle se rapporte cette évaluation, et

1. Voir *Études agronomiques*, t. I, p. 138 et suivantes.

demeurées sans fumure depuis quelques années, atteint à peine 10 à 11 quintaux à l'hectare. Dans ces conditions, le prix de revient du quintal se rapproche du chiffre de 25 fr. cité à la tribune comme représentant le coût moyen des 100 kilogr. de froment en France. Il serait, en effet, de 24 fr. 40. Prenons-le comme point de départ arbitraire de la discussion. Si nous ajoutons à cette dépense de 268 fr. la somme de 51 fr. 50 pour engrais, la dépense totale à l'hectare montera à 319 fr. 50, soit, en nombre rond, 320 fr. Si, comme M. Thiry l'a obtenu à Tomblaine et nous, en 1894, au parc des Princes, la récolte atteint 25 quintaux à l'hectare, le prix de revient du quintal (paille comprise) se trouvera abaissé à 12 fr. 30 environ, laissant plus de 7 fr. de bénéfice sur le cours de 20 fr., et chacun des quintaux en excédent sur le rendement de 11 quintaux reviendra à 3 fr. 64 seulement.

Est-il besoin de dire que nous ne donnons à ces chiffres aucun caractère absolu ? Ils ont seulement pour but de mettre hors de discussion deux faits de nature à encourager puissamment les cultivateurs dans l'emploi des engrais minéraux, à savoir : l'influence tout à fait prépondérante de l'élément fumure sur le rendement, toutes choses égales d'ailleurs, et l'erreur profonde dans laquelle on tomberait en renonçant, sous prétexte de la hausse des engrais phosphatés, à les appliquer sur une large échelle aux emblavures d'automne. Nous avons vu que l'acide phosphorique, en revenant aux prix de 1890, a subi, par rapport aux cours des années 1896 et 1897, une augmentation de 20 °/₀ environ, le kilogramme ayant passé de 40 centimes à 50 ; mais si l'on rapproche cette hausse du bénéfice réalisable par les excédents de récolte, bénéfice qui varie entre trois et sept fois la dépense en engrais, on conclura qu'elle est de peu d'importance au point de vue du résultat final et qu'elle ne doit en rien engager le cultivateur à restreindre ses fumures d'automne.

En accord avec les faits les mieux constatés dans la pratique, les expériences du parc des Princes prouvent, une fois de plus, que 300 kilogr. de scories ou de superphosphate titrant 15 à 16 °/₀ d'acide phosphorique, associés, si le sol le réclame, à 30 ou 40 kilogr. de potasse et complétés, dans leur action, par l'épandage de

100 à 150 kilogr. de nitrate de soude au printemps, constituent une fumure pour blé économique et tout à fait rémunératrice. Si les sols qu'on destine aux emblavures d'automne sont très pauvres en azote, il y a une pratique assez répandue déjà et dont nous nous trouvons très bien depuis plusieurs années dans un grand domaine de Lorraine : elle consiste à ajouter, avant la semaille, aux engrais phosphatés et potassiques, 60 à 80 kilogr. de sulfate d'ammoniaque à l'hectare. On assure par là une vigueur assez grande aux jeunes céréales pour que leur développement les prépare à supporter les rigueurs de l'hiver.

Une alimentation suffisante est, pour les plantes comme pour les animaux, la première et la plus essentielle des conditions à remplir si l'on veut obtenir du sol des rendements capables de laisser entre le prix de revient des produits et leurs cours sur le marché un écart vraiment rémunérateur. C'est la conclusion que les propriétaires par leur exemple, les publicistes par leurs conseils, doivent s'efforcer de faire pénétrer dans la petite et la moyenne culture, trop disposées encore à méconnaître les importantes vérités que l'expérience a mises en évidence.

Station agronomique de l'Est.

Paris, juillet 1906.

L. Grandeau, L. Bartmann.

ANALYSE ET CONTRÔLE

DES SEMENCES FORESTIÈRES

DES STATIONS D'ANALYSE ET DE CONTRÔLE
DES SEMENCES FORESTIÈRES
PRESCRIPTIONS TECHNIQUES — MÉTHODES D'ANALYSE — RÈGLEMENTS

PAR M. A. FRON

Les graines forestières, aussi bien que les graines agricoles, sont l'objet d'un commerce important, tant en France qu'à l'étranger, et ce commerce a besoin d'un contrôle. D'autre part, la qualité d'une semence saine et d'aspect extérieur normal peut être extrêmement variable, suivant l'époque et l'ancienneté plus ou moins grande de la récolte, les conditions et procédés de conservation employés, et aussi suivant une foule de causes qui dépendent du lieu d'origine de la graine, du sujet qui a fourni cette graine, des procédés de récolte et de désarticulation, etc.

Nous ne pouvons, dans l'étude qui va suivre, nous étendre sur les causes qui sont susceptibles de faire varier depuis la qualité zéro jusqu'à la qualité parfaite une graine d'apparence non suspecte. Nous renverrons à ce sujet à la publication de M. Thil [1] sur les graines résineuses, aux nombreux articles publiés par M. Schribaux

1. A. Thil, « Achat, récolte et préparation des graines résineuses employées par l'administration des forêts » (*Revue des Eaux et Forêts,* 1884).



dans les revues agricoles [1], aux nombreux travaux du professeur Dr Nobbe, particulièrement à son important ouvrage sur les semences [2] et aux intéressantes observations du Dr Karl von Tubeuf sur les semences forestières [3].

De même, en ce qui concerne la haute importance économique de l'essai des graines, nous ne pouvons que renvoyer au remarquable rapport sur le commerce des graines forestières, présenté par le conseiller intime Dr Nobbe au congrès de la Société de dendrologie forestière tenu à Dresde en 1899 [4]; aux publications allemandes du professeur Dr Schwappach d'Eberswalde [5] et du Dr Rodewald à Kiel [6]; aux publications de M. Johannes Rafn de Copenhague [7]; au rapport de M. Pierret sur la station d'expériences du domaine forestier des Barres-Vilmorin [8].

Nous négligerons complètement, ou tout au moins nous ne parlerons que d'une façon accessoire des essais de graines agricoles. Nous nous bornerons, après une description rapide des plus importantes stations d'essai de semences forestières existant actuellement en France et à l'étranger, et après un aperçu comparatif des résultats acquis, à déduire de cette étude les prescriptions techniques qui nous paraissent devoir être appliquées aux essais de germination des graines forestières exécutés en France.

---

1. *Botanique agricole,* par E. Schribaux et J. Nanot. Paris, 1903 (chapitre consacré aux semences).

2. *Handbuch der Samenkunde,* von Dr Friedrich Nobbe. Berlin, 1876.

3. *Samen, Früchte und Keimlinge der in Deutschland heimischen oder eingeführten forstlichen Culturpflanzen.* Berlin, 1891.

4. « Ueber den forstlichen Samenhandel » von geheimen Hofrath. Professor Dr Nobbe (*Tharander forstliches Jahrbuch,* 49 Band, 3 Heft. Dresden, 1899).

5. « La Station d'essai de graines forestières d'Eberswalde », par le professeur Dr Schwappach (*Revue dendrologique* de Beissner, janvier 1903).

6. « *Zur Methodik der Keimprüfungen,* von Dr H. Rodewald » aus den landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen, 1889.

7. « Etwas über Samenuntersuchungen und die forstlichen Samenhandel », von Johannes Rafn (*Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft,* n° 9, 1900, et n° 10, 1901, et *Die Gehölz-Samenuntersuchungen der Saison 1902-1903,* von Johannes Rafn. Kjöbenhavn, 1903.

8. *Bulletin du Ministère de l'agriculture,* 9e année, n° 6. Paris, 1890.

Nous pensons en effet que, soit qu'il s'agisse d'expériences exécutées dans un but de contrôle, soit qu'il s'agisse de recherches scientifiques, les essais de germination doivent toujours être exécutés d'une manière méthodique nettement définie ; c'est, à notre avis, le seul moyen d'obtenir en la matière des résultats susceptibles d'être comparés les uns aux autres, et susceptibles aussi d'être mis en parallèle avec ceux qui sont obtenus à l'étranger.

Généralités

Les essais de semences reposent sur trois principes :

1° Avant de mettre une semence en terre, il est indispensable de savoir si elle est susceptible de germer ; autrement dit, il faut connaître combien il y a de sujets susceptibles de se développer dans un lot de graines qu'on veut utiliser. Le nombre rapporté à cent de graines susceptibles de germer est ce qu'on appelle le *coefficient de faculté germinative*.

2° Les semences livrées par le commerce sont toujours mélangées d'une quantité plus ou moins grande d'impuretés (débris d'écailles, pierrailles, fragments de terre, graines cassées ou notoirement détériorées, graines étrangères et débris de toute nature) que les procédés les plus parfaits ne permettent pas d'éliminer ou qu'on ne s'est pas donné la peine de séparer. Pour se rendre compte de la valeur d'une fourniture (généralement vendue au poids), il est nécessaire de connaître la proportion d'impuretés contenues dans la livraison. Si dans un poids P de la semence livrée il existe un poids I d'impuretés, la proportion $\frac{P-I}{P}$ est ce qu'on appelle le *coefficient de pureté*.

Remarquons que la véritable valeur marchande d'une fourniture est liée à deux facteurs indépendants l'un de l'autre, la pureté d'une part et la faculté germinative d'autre part. Le produit de ces deux coefficients est ce qu'on appelle la *valeur culturale* d'une semence.

3° Une graine mise en terre peut germer dans des conditions normales, variables il est vrai suivant les espèces et les situations, mais

telles que le jeune végétal né de la graine est susceptible de prendre pendant une saison de végétation son développement normal. Dans nos climats, pour la majorité des plantes agricoles, ce développement normal va jusqu'à la maturité et la dissémination de la semence; pour les graines forestières, ce développement normal est atteint lorsque le jeune végétal est suffisamment lignifié pour supporter les rigueurs de l'hiver et lorsqu'il a en outre emmagasiné dans ses tissus une provision suffisante d'éléments de réserve pour repartir, c'est-à-dire développer ses premiers organes verts au début de la saison de végétation suivante.

Une graine qui manque de vitalité, dont la jeune plantule commence à se développer trop tard, peut n'être plus susceptible de prendre pendant le restant de la saison de végétation son développement normal; le végétal issu de cette graine est alors sans avenir.

On appelle *énergie germinative* la caractéristique des semences à cet égard.

Ces principes ont été posés par le professeur Dr Nobbe, qui, dès 1869, faisait créer à Tharandt (Saxe) la première station d'essai de semences, et, de l'avis même du professeur Dr Schwappach (1), « c'est l'administration forestière française qui, la première, est entrée dans la voie de l'essai systématique des graines forestières, en créant, en 1872, au domaine national des Barres, une station d'expériences pour soumettre à des essais minutieux aussi bien les graines achetées au commerce que les graines provenant des sécheries domaniales ».

Depuis, les établissements de ce genre se sont multipliés; il a été fondé dans presque tous les États d'Europe, ainsi que dans l'Amérique du Nord, des stations d'essai de semences dont le nombre ne cesse de s'accroître. Il est à remarquer, toutefois, que si les agriculteurs ont donné à ces essais, avec beaucoup de succès d'ailleurs, une extension de plus en plus grande, « les forestiers, de leur côté, n'ont en général apporté dans les débuts à cette question capitale qu'une attention bien moins sérieuse (1) ». Aussi est-ce seulement

1. *Revue dendrologique* de Beissner, janvier 1903.

dans le cours de ces dernières années, au vu des résultats acquis pour les semences agricoles [1], qu'on a senti la nécessité de réformer le marché des graines forestières, afin d'obtenir des produits meilleurs et moins chers; comme conséquence, nous voyons l'établissement suisse de Zurich prendre une immense extension [2]; nous voyons l'Autriche créer en 1889, à Mariabrünn, un laboratoire spécial d'essai de graines forestières; un peu plus tard, en 1899, c'est l'Allemagne qui crée à Eberswalde une station spéciale d'essai de graines forestières. Ainsi peu à peu s'organisent et se généralisent les essais de graines forestières, et il n'y a pas de raison pour que le propriétaire forestier qui récolte ou qui achète des semences forestières ne vienne pas, comme le fait déjà l'agriculteur, s'adresser aux stations d'analyse et de contrôle des semences. Il le fera lorsqu'il sentira ces établissements suffisamment outillés pour lui fournir rapidement des résultats exacts [3].

---

1. M. Schribaux constate que c'est grâce à l'influence et au contrôle des stations d'essai de semences que la qualité des semences fourragères s'est grandement améliorée dans l'espace d'une quinzaine d'années, et qu'en même temps les prix ont notablement diminué (E. Schribaux et J. Nanot, *Botanique agricole*, p. 101).

2. Du 1er juillet 1902 au 30 juin 1903, l'établissement suisse de Zurich a essayé 10 274 échantillons, dont 2 184, soit 21,3 °/o de graines forestières, et on lit dans le compte rendu annuel de cette station que la plus grande partie de la récolte de graines des pins de l'Europe, récolte dont la valeur est de plusieurs millions de francs, est essayée dans cet établissement.

3. Nous relevons au bulletin de la Société forestière française des amis des arbres (1er trimestre 1906) la phrase suivante dans une lettre adressée par le directeur d'une section forestière scolaire du Cantal au président de la société :

« ....Les graines (pin sylvestre sans doute) que vous avez bien voulu m'adresser, il y a deux ans écoulés, *n'ont pas levé ; je n'ai pas trop su pourquoi....* » Rien ne prouve que la graine semée n'était pas vieille, et par suite incapable de germer. — Rien ne serait plus facile que de mentionner sur toute étiquette, outre le nom de la graine, le pour-cent de germination avec la date de l'essai; ces deux renseignements sont, à notre avis, aussi indispensables l'un que l'autre.

PREMIÈRE PARTIE

STATIONS D'ANALYSE ET DE CONTRÔLE DES SEMENCES FORESTIÈRES

I. — STATIONS ALLEMANDES

L'idée dominante en Allemagne a toujours été de protéger l'agriculteur contre les fraudes, en instituant dans le domaine d'action des stations agronomiques un service de contrôle ; aussi existe-t-il dans ce pays un très grand nombre d'établissements qui ont pour mission de contrôler les engrais, les fourrages, les semences et d'effectuer les recherches utiles à l'agriculture.

En 1900, d'après le professeur Nobbe [1], ce service était assuré par soixante-neuf stations agronomiques en activité ; trente-cinq de ces stations mentionnaient dans le programme de leurs travaux le contrôle des semences, et parmi elles un certain nombre seulement s'occupaient des semences forestières.

Pour atteindre leur but de contrôle d'une façon pratique, il fallait à ces nombreuses stations des méthodes uniformes ; il fallait tout d'abord, dit le professeur Nobbe, « établir des méthodes spéciales d'analyses dans les diverses directions et les rendre très précises *en répétant toujours la même épreuve avec un matériel identique* ». Aussi, dès l'année 1875, a eu lieu à Gratz la première assemblée des directeurs des stations d'essai de graines, où l'on a pris des dispositions pour arriver à l'identité des méthodes et des principes. Ce groupement, nécessaire aussi dans les autres branches du contrôle agricole, a été définitivement établi par la fondation à Weimar, en 1898, du *Verband der landwirtschaftlicher Versuchs-Stationen im deutschen Reiche*.

1. *L'Agriculture allemande à l'exposition universelle de Paris*, Bonn-s.-Rh., 1900. Rapport présenté par le conseiller intime professeur Nobbe sur le « Développement et l'état actuel du service des expériences agricoles de l'empire d'Allemagne ».

En matière d'essais de semences, le *Verband* a établi pour toute l'Allemagne un véritable code [1], composé d'une série de prescriptions techniques ayant pour but de rendre les expériences précises et absolument comparables les unes aux autres.

Les deux stations les plus importantes au point de vue de l'essai des graines forestières en Allemagne sont :

La station de Tharandt (Saxe) ;

La station d'Éberswalde (Prusse).

Station d'essai de semences de Tharandt [2]

La station royale de physiologie végétale et de contrôle de semences de Tharandt a été fondée en 1869 par le syndicat agricole du cercle de Dresde ; elle a été reprise par l'État en 1875 et augmentée en 1886 d'une section jardinière. Elle s'occupe de recherches de physiologie végétale, de l'étude et du contrôle des semences, tant agricoles que forestières, et des questions de bactériologie.

La station est annexée à l'académie forestière de Tharandt, dans les bâtiments de laquelle elle est installée ; elle possède un laboratoire de chimie et de physiologie, une serre chaude pour les expériences de physiologie végétale, une installation complète pour l'étude et le contrôle des semences et enfin un jardin botanique important.

En ce qui concerne le contrôle des semences, les essais sont effectués sous la direction du directeur de la station et sous la surveillance d'un des assistants ; la préparation des lots de semences à mettre en germination, la détermination du coefficient de pureté et les différentes manipulations relatives à la mise en expérience des échantillons sont effectuées par des jeunes filles dressées à ce travail

1. *Technische Vorschriften des Verbandes landwirtschaftlicher Versuchs-Stationen im deutschen Reiche für die Samenprüfungen.* Paul Parey, Berlin, 1903.

2. D'après le *Rapport sur le développement et l'état actuel du service des expériences agricoles dans l'empire d'Allemagne,* présenté à l'exposition de 1900 par le conseiller intime professeur Dr Nobbe, et les renseignements qu'a bien voulu nous fournir le Dr Nobbe en nous faisant visiter la station de Tharandt.



spécial et payées par la station ; les comptages sont confiés à un préparateur chargé de les effectuer tous les jours à des heures déterminées.

La moyenne annuelle du nombre des analyses effectuées dans cet établissement s'élève à environ huit cents, dont seulement trente à quarante par an concernent les graines forestières.

Le matériel de la station comprend comme parties essentielles :

1° Une collection complète de graines, y compris les graines forestières ; cette collection, richement installée dans une des salles de la station, compte environ trois mille échantillons, classés par genres et par espèces d'après le système d'Endlicher ; chaque genre est numéroté et catalogué. A cette collection est jointe une collection de fruits, de semences et de cônes, généralement conservés dans des bocaux en verre ;

2° Une balance de précision au milligramme et une balance au centigramme, ainsi que les appareils de pesées ordinaires ; la balance au centigramme est employée pour les expériences courantes dans lesquelles on se contente de pesées faites au décigramme ;

3° Deux étuves à température constante et à régulateur de température ;

4° Tous les appareils et accessoires nécessaires pour la manipulation des semences, parmi lesquels nous noterons : des cuvettes en porcelaine pour la mise en expérience des buvards de germination ; du papier buvard spécial pour germinateurs ; un jeu complet de tamis (système Nobbe) ; une sonde pour le prélèvement des échantillons et divers instruments nécessaires pour faciliter les opérations du nettoyage, du pesage, du séchage et pour maintenir le degré d'humidité voulu sur les germoirs pendant la durée des expériences ; enfin les registres, armoires à échantillons et tables de manipulations ;

5° Des terrines remplies de sable, pour la mise en germination des grosses graines telles que glands, faînes, etc., qu'on place pendant la durée de l'expérience dans la serre chaude destinée aux expériences de physiologie végétale.

Les essais de germination sont exécutés conformément aux pres-

criptions techniques de l'Union des stations agricoles de l'empire allemand. Nous n'avons donc à nous occuper ici que de la détermination de la faculté germinative, afin de décrire le procédé utilisé à Tharandt.

L'appareil employé est l'étuve à température constante du Dr Nobbe, modifiée par l'annexion des tubes à air chaud système Schribaux; les graines de chaque échantillon d'expérience sont disposées dans un germoir en papier buvard spécial; deux germoirs sont placés dans une cuvette en porcelaine dont le fond est garni d'un double papier buvard, et les cuvettes sont alignées sur les plateaux de l'étuve. A Tharandt, l'une des étuves est généralement réglée à 20° centigrades et l'autre à 30° centigrades.

Pour l'usage, l'étuve est entourée d'une enveloppe en bois qui diminue la déperdition de chaleur; enfin, de temps en temps et selon les besoins, tout l'appareil est désinfecté au formol.

Notons ici que le papier buvard employé, préalablement stérilisé, doit être humecté de telle sorte qu'il renferme environ 60 °/o de l'eau totale qu'il pourrait absorber à saturation. Dans la pratique, on obtient ce résultat en mouillant à saturation le germoir avec de l'eau stérilisée et en le laissant reposer ensuite quelques instants sur un coussin de buvard sec. Lorsque les semences sont ainsi disposées dans l'étuve, il suffit de maintenir le degré d'humidité constant pendant toute la durée de l'expérience; pour cela, l'opérateur qui fait les comptages arrose légèrement toutes les vingt-quatre ou les quarante-huit heures les buvards à l'aide d'une pipette; une certaine pratique lui apprend à juger à peu près exactement de l'humidité du germoir au simple toucher.

La surveillance des échantillons mis en expérience se fait tous les jours, ainsi que les comptages. Quant à l'aération, nécessaire aussi à une bonne germination, elle est réglée dans l'étuve à l'aide de deux ventilateurs disposés sur les parois latérales.

Les prescriptions techniques indiquent de prendre pour la conduite d'une expérience quatre lots de cent graines; le professeur Nobbe place deux à deux ces lots dans deux cuvettes distinctes, au lieu de placer ses quatre échantillons dans une même cuvette, parce qu'il peut y avoir accidentellement excès ou insuffisance d'humidité

dans une des cuvettes d'expérience [1] et qu'en opérant comme nous venons de l'indiquer il est plus sûr d'obtenir une moyenne d'expérience exacte.

Il nous reste à expliquer comment le professeur Nobbe a été conduit à adopter le chiffre de 60 °/₀ d'humidité que nous avons donné précédemment.

Ce chiffre de 60 °/₀, qui représente à son avis le degré d'humidité le plus favorable, a été déterminé d'après les résultats d'une longue série d'expériences dans lesquelles, toutes choses égales d'ailleurs, on a fait varier le degré d'humidité. Dans ces expériences, la quantité d'eau contenue dans le papier buvard, autrement dit l'humidité du germoir, a été mesurée à l'aide de pesées ; ces pesées, faites dans l'étuve elle-même, ont permis de constater la déperdition en eau des germoirs au cours de l'expérience et par suite de déterminer la quantité d'eau qu'il était nécessaire de leur rendre pour maintenir constant le degré d'humidité. Actuellement, l'expérimentateur sait que, dans les conditions où il opère, il doit, toutes les vingt-quatre ou les quarante-huit heures, ajouter sur son papier buvard un nombre donné de centimètres cubes d'eau ; un appareil très simple à siphon, composé d'un long tube gradué rempli d'eau mis en communication avec une pipette, lui permet d'arroser périodiquement ses germoirs dans les conditions voulues. Cette manière de régler l'humidité du germoir, très exacte, mais trop longue, n'est plus employée à Tharandt, en raison de l'expérience des opérateurs, sauf pour les recherches scientifiques.

Le professeur Nobbe, qui depuis 1869 s'occupe à Tharandt des essais de semences, a depuis longtemps créé ou utilisé d'autres types de germoirs ; nous citerons par exemple le godet en terre poreuse dit germinateur Nobbe ; nous citerons aussi un germinateur rempli de sable stérilisé qui est arrosé comme le papier à filtre et sur lequel on place les graines d'expérience. Aujourd'hui, à Tharandt, il emploie de préférence, notamment pour la mise en germination des graines forestières, le papier buvard, et il en préconise

1. Un excès d'humidité est très à redouter dans les expériences de ce genre, et tend à diminuer le pour-cent de germination.



l'emploi, considérant « que le papier buvard, si on a soin de le manier d'après les règles des prescriptions techniques, est d'une manipulation facile, propre et très nette, et qu'il permet de se rendre compte plus rapidement et sans hésitation du résultat d'une épreuve » (1).

Station d'essai de semences forestières d'Eberswalde (2)

La station d'essai de semences forestières d'Eberswalde a été créée en 1899 comme section de la station centrale de l'académie forestière d'Eberswalde, pour s'occuper des essais demandés par les propriétaires particuliers et les commerçants; elle est provisoirement installée dans les locaux affectés aux bureaux forestiers du Dr Schwappach, forstmeister attaché comme professeur à l'académie forestière, et un brigadier de bureau est spécialement chargé du contrôle des semences; elle ne dispose d'aucun crédit permanent; des crédits spéciaux lui sont affectés lorsque les besoins l'exigent et les recettes (produit des analyses) sont versées dans la caisse du Trésor.

Les essais sont exécutés conformément aux « prescriptions techniques de l'Union des stations agricoles de l'empire allemand ». L'appareil employé est la caisse à germination du Dr Cieslar, modifiée par le professeur Schwappach.

L'appareil du professeur Cieslar, actuellement utilisé à la station autrichienne d'essai de semences de Mariabrünn, se compose d'une solide caisse de zinc à section horizontale carrée dont le fond est formé d'une seule feuille de zinc fort, et dont les parois latérales S sont doubles; l'espace compris entre les parois est rempli par un corps mauvais conducteur de la chaleur, des cendres par exemple. La paroi antérieure de la caisse est plus basse que la postérieure, afin que le couvercle soit incliné; ce couvercle est mobile et peut

1. *Anträge des Ausschusses für Samenprüfungen*, aus den landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen-Organ von Nobbe, 54e vol., 1900, p. 53-56.

2. D'après le compte rendu du professeur Dr Schwappach sur la station (*Revue dendrologique* de Beissner, janvier 1903) et les renseignements qu'a bien voulu nous donner à Eberswalde le professeur Schwappach, directeur de la station.



être relevé ; il est formé de deux glaces enchâssées dans un châssis de tôle et séparées par une couche d'air qui joue le rôle de corps isolant.

Le fond de la caisse est couvert d'une couche de sable fin, lavé et calciné, d'environ 3 centimètres d'épaisseur, couche sur laquelle on place des plateaux d'argile ; l'humidification du sable est obtenue au moyen d'un canal à eau couvert K qui entoure extérieurement la base de la caisse ; ce canal est alimenté par l'extérieur et quatre tubes R conduisent l'eau du canal dans l'intérieur de la caisse. Pour mouiller le sable, on n'a qu'à verser de l'eau dans une des ouvertures d'alimentation ; veut-on au contraire le laisser se dessécher ? il suffit d'ouvrir un tube de vidange et de laisser couler l'eau autant qu'on le désire. L'aération intérieure est assurée par deux ouvertures situées sur les parois latérales ; enfin, un thermomètre permet de connaître la température intérieure de la caisse sans qu'il soit nécessaire de l'ouvrir.

La germination s'effectue sur des plats d'argile qu'on place dans l'appareil sur la couche de sable, et dans lesquels on met les graines d'expérience.

Un simple support soulève l'appareil et permet de le chauffer en dessous soit avec une petite rampe à gaz, soit simplement à l'aide de veilleuses.

Les dimensions de l'appareil en usage à Mariabrünn permettent d'y mettre en expérience simultanément trente-six plateaux, qui peuvent contenir chacun cent graines d'essences résineuses ordinaires telles que celles des pins, épicéas et mélèzes.

A Eberswalde, l'appareil employé lors de la fondation de la station a été celui que nous venons de décrire, et l'établissement en possède deux qui sont installés dans les bureaux forestiers, c'est-à-dire dans des pièces habitées et chauffées normalement ; la température des caisses à germination est maintenue entre 20° et 25° centigrades à l'aide de petites lampes à alcool qu'on place par intermittence sous les appareils. Afin de grouper plusieurs de ces appareils dans des conditions identiques, le professeur Schwappach a fait construire une étuve dont la disposition générale est la suivante : l'étuve est identique à celle du professeur Nobbe, mais chacun des plateaux

l'étuve Nobbe a été remplacé par un petit appareil Cieslar aplati et simplifié ; chacun de ces petits appareils, d'une hauteur totale de 20 à 25 centimètres, s'introduit dans l'étuve comme on y introduisait les anciens plateaux, et chacun d'eux renferme un grand nombre de petits plats d'argile qui reposent sur du sable humide, comme dans l'appareil Cieslar.

Cette étuve, placée dans une salle habitée et par suite régulièrement chauffée, conserve très longtemps la même température, et il suffit d'allumer de temps en temps une petite lampe à alcool placée à la partie inférieure de l'appareil pour élever ou maintenir la température de l'étuve au degré voulu ; un cône renversé en métal, échauffé par la lampe, dirige l'air chaud vers les tubes Schribaux qui garnissent les parois latérales de l'étuve, afin d'assurer l'uniformité de la température dans toutes les parties de l'appareil.

Avec cette étuve, le professeur Schwappach obtient des résultats rapides et très comparables les uns aux autres. Nous insisterons toutefois sur un point qui à notre avis est essentiel : pour que des appareils de ce genre puissent fonctionner, il est nécessaire que les plats d'argile sur lesquels reposent les graines soient préparés avec le plus grand soin et offrent un degré de porosité identique dans toutes leurs parties ; pour cela ils ne doivent être faits qu'avec une argile très pure, soigneusement triée et susceptible de donner à la cuisson une matière très homogène et suffisamment poreuse ; autrement dit, la préparation de ces plateaux doit être, dans le commerce, une spécialité en quelque sorte garantie par la maison qui les livre. A Eberswalde, lors de l'installation de la station en 1889, le professeur Schwappach a fait exécuter ses plats d'argile en Allemagne ; dès le début, il n'a obtenu avec ses appareils que de très mauvais résultats : la porosité des germoirs était tellement différente que, toutes choses égales d'ailleurs, deux échantillons de la même graine placés côte à côte donnaient des écarts inadmissibles. Après de patientes recherches, M. Schwappach a dû admettre le procédé suivant : avant de se servir des germoirs qui lui sont fournis, il les plonge pendant dix jours dans une solution acide, puis il les lave avec grand soin et les laisse sécher ; c'est seulement après avoir fait subir à ses germoirs une telle préparation qu'il peut obtenir des résultats comparables

entre eux. Avec des terres poreuses d'origine française que nous avons eu l'occasion d'essayer, nous avons éprouvé les mêmes difficultés, et nous pensons qu'il est de toute nécessité de s'assurer d'une façon très minutieuse de la qualité des plats d'argile qu'on achète au commerce, et de vérifier avec le plus grand soin leur parfaite porosité, avant de les employer dans des expériences de germination.

Il nous reste à dire quelques mots du fonctionnement et de la clientèle de la station.

Le fonctionnement de la station d'essai est défini par un règlement qui a été revisé le 9 février 1904 et dont le texte a été publié dans le *Deutsche Forstzeitung,* n° 23 du 5 juin 1904 ; dans ce règlement, les instructions relatives aux essais sont conformes aux prescriptions techniques. Il est intéressant de constater qu'à Eberswalde, comme dans tous les établissements similaires, le nombre des échantillons de graines forestières mis en expérience a été en progression rapide au fur et à mesure que la station était plus connue; le tableau suivant donne un relevé de ces chiffres :

	ANALYSES		
	complètes	payantes	gratuites
	—	—	—
Pendant l'exercice 1900 il a été exécuté . . .	44 dont	31	13
— 1901 — . . .	52	39	13
— 1902 —	109	61	48
— 1903 — . . .	174	118	59

Quant à la clientèle de la station, elle comprend aujourd'hui d'une part les propriétaires forestiers et les négociants en semences forestières et d'autre part les services forestiers de l'État.

Les propriétaires forestiers en Prusse, de même d'ailleurs que les agriculteurs, ont reconnu avec raison qu'ils sont mieux servis et à meilleur marché lorsqu'ils s'adressent au commerce par commandes groupées que lorsqu'ils agissent isolément; aussi ont-ils pris l'habitude de se grouper en syndicats agricoles, en *Landwirtschaftskammern,* et de centraliser leurs commandes de graines forestières (1) ; c'est alors le

1. Nous lisons dans le compte rendu de la station suisse d'essai de semences de Zurich (1903, p. 4) les lignes suivantes : « Nous devons reconnaître que l'activité de

syndicat qui achète en bloc les semences forestières demandées ; ces achats sont faits à la condition que les graines livrées seront soumises aux essais de germination à Eberswalde, aux frais du fournisseur, dans les conditions prévues par un contrat passé entre le syndicat d'une part et les principaux fournisseurs de semences d'autre part. En vertu de ce contrat, les commandes particulières, transmises par le syndicat au marchand de graines, sont exécutées par ce dernier, qui doit adresser directement dans un délai convenu chaque fourniture de graines au propriétaire qui l'a demandée ; une fois les livraisons faites, le syndicat désigne à son choix, sans l'intervention du fournisseur, parmi les acheteurs qu'il a représentés, 12 à 20 °/₀ de ceux-ci, et il leur fait envoyer à la station d'Eberswalde un échantillon des fournitures qu'ils ont reçues, afin de faire contrôler les garanties données par le vendeur. Nous avons trouvé dans le n° 23 du *Deutsche Forstzeitung*, 5 juin 1904, les conditions du contrat passé entre le syndicat forestier de la chambre agricole de Poméranie et les maisons de commerce de graines forestières pour les livraisons de semences du printemps 1904 (1) ; les contrats de ce genre, rédigés sous forme d'avis sur feuilles isolées, servent en même temps de catalogue et de prix courant, et sont adressés à tous les membres du syndicat.

Le service forestier de l'État prussien a tout d'abord considéré que l'essai des graines provenant de l'administration était suffisamment assuré par les organisations existantes ; aussi, d'après le professeur Schwappach, la station d'Eberswalde ne s'occupait-elle, dans la période de ses débuts, qu'à titre tout à fait exceptionnel des graines destinées aux forêts de l'État ; peu après, le développement effectif

---

notre station n'aurait pas pris un si grand essor si nous n'avions pu nous appuyer sur l'esprit d'association, très développé dans la Suisse allemande. Les associations agricoles sont la condition nécessaire pour le développement et l'activité d'une station d'essai de semences. » — Ces associations syndicales existent en France pour l'achat des engrais, de certaines semences agricoles, quelquefois même de semences forestières (syndicat agricole du Loiret), mais on ne les voit pas se généraliser et prendre l'extension qu'ils ont en Allemagne et dans la Suisse allemande. Une plus grande activité de ces syndicats serait désirable à tous égards dans notre pays.

1. « Bekanntmachung betreffend den Bezug von Waldsamen », *Deutsche Forstzeitung*, n° 23, 5 juin 1904.



de la station a naturellement amené le service forestier à la prendre de plus en plus en considération, et l'on s'est vite décidé à y avoir recours toutes les fois que les essais exécutés par les agents eux-mêmes révélaient une qualité germinative inférieure à celle qui avait été garantie. L'expérience n'a pas tardé à prouver que les résultats obtenus par des expérimentateurs isolés, souvent mal outillés pour assurer l'invariabilité indispensable de la température et de l'humidité, étaient presque toujours trop faibles ; aussi l'extension du service de la station a-t-elle été reconnue nécessaire ; par une circulaire en date du 20 avril 1904 (1), le ministre de l'agriculture, des domaines et des forêts du gouvernement royal de Prusse a prescrit au service forestier d'effectuer les acquisitions de graines de pin et d'épicéa d'après les règles adoptées par la station d'Eberswalde et de faire contrôler à cette station les garanties données par les fournisseurs.

Si nous nous reportons aux dix années d'hésitation qui ont précédé la création de la station d'essai de semences forestières d'Eberswalde, puis aux progrès rapides effectués et à l'extension donnée à cet établissement en l'espace de quatre années, extension couronnée en 1904 par la mesure que nous venons de signaler, nous pouvons dire qu'une création de ce genre a répondu en Prusse à un besoin réel, et que l'établissement d'Eberswalde est appelé à centraliser d'ici peu tous les essais de semences forestières exécutés dans le royaume de Prusse, tant dans l'intérêt de l'État que dans celui des propriétaires particuliers et des négociants en semences forestières.

II. — STATIONS SUISSES

Il existe en Suisse deux stations d'essai de semences, la station de Lausanne, de création récente, qui s'occupe plus spécialement des

1. « Verfügungen des Ministeriums für die Landwirtschaft, Domänen und Forsten an die königlichen Regierungen. — Keimproben des aus Samenhandlungen bezogenen Samens, Runderlass, n° 18, 1904 » (*Deutsche Forstzeitung*, n° 23, 5 juin 1904).

graines agricoles, et la station de Zurich dont la fondation remonte à 1878, qui s'occupe aussi bien des graines agricoles que des graines forestières. Ces deux stations dépendent directement du département fédéral de l'agriculture ; elles ont pour but de mettre à la portée du commerce et du propriétaire foncier le moyen d'arriver à un contrôle sûr et officiel des diverses semences récoltées ou utilisées.

Nous devons signaler ici le souci qu'a pris le ministre d'agriculture suisse de donner de plus en plus d'extension au service de la station de Zurich au fur et à mesure de ses besoins ; ce développement, qui a porté pendant des années aussi bien sur le local et l'outillage de la station que sur le personnel, était une conséquence logique de l'augmentation du nombre des analyses ; mais il a eu aussi pour effet de donner une vigueur incontestable à cet établissement et de ne pas enrayer sa marche en avant, si bien qu'aujourd'hui on peut lire dans le compte rendu officiel de la station que la plus grande partie de la récolte des graines de pins de l'Europe, récolte dont la valeur est de plusieurs millions de francs, est essayée à Zurich. Il est intéressant de noter ce fait, aujourd'hui où l'on semble disposé dans divers pays à donner plus d'attention que par le passé à l'essai des graines forestières.

Station d'essai de semences de Zurich (1)

La station d'essais de semences de Zurich fonctionne d'une façon officielle depuis 1878 ; elle a été fondée sur l'initiative du professeur Dr Stebler, d'après les principes posés dès 1869 en Allemagne par le professeur Dr Nobbe.

Elle s'occupe de l'essai de toutes les graines, aussi bien des graines agricoles que des semences forestières et, depuis sa fondation, c'est-à-dire en l'espace de vingt-cinq ans, elle a plus que décuplé le nombre de ses analyses annuelles ; le fait est intéressant à remarquer ;

1. D'après les comptes rendus officiels annuels de la station de Zurich et les renseignements qu'ont bien voulu nous fournir sur place M. le Dr Stebler, directeur de l'établissement et M. le Dr Volkart.



il résulte des chiffres suivants que nous extrayons du vingt-cinquième compte rendu de cet établissement (1).

ANNÉES	NOMBRE d'analyses	ANNÉES	NOMBRE d'analyses
—	—	—	—
1877-1878.	885	1890-1891.	4 849
1878-1879.	1 056	1891-1892.	5 543
1879-1880.	1 358	1892-1893.	5 958
1880-1881.	1 465	1893-1894.	6 049
1881-1882.	1 792	1894-1895.	6 857
1882-1883.	1 809	1895-1896.	6 937
1883-1884.	1 883	1896-1897.	7 268
1884-1885.	1 877	1897-1898.	8 462
1885-1886.	2 247	1898-1899.	8 440
1886-1887.	2 740	1899-1900.	9 231
1887-1888.	3 150	1900-1901.	10 257
1888-1889.	4 009	1901-1902.	9 686
1889-1890.	4 601		

Enfin, pour 1902-1903, le nombre d'analyses a été de 10 274.

Notons ici que les essais de la station comportent soit des analyses directes, soit des contre-analyses (analyses de contrôle); le nombre des premières est toujours plus élevé que celui des dernières; pendant les deux derniers exercices, les essais effectués à Zurich se décomposent ainsi :

	1901-1902	1902-1903
	—	—
Analyses directes.	7 208	7 977
Contre-analyses	2 437	2 257
Expériences personnelles. . . .	41	40
Total.	9 686	10 274

Sur ces essais, plus de 20 °/₀ concernent les graines forestières; nous relevons en effet les chiffres suivants :

1. Die Schweiz-Samenuntersuchungs- und Versuchsanstalt in Zürich. Technischer Bericht vom 1 Juli 1901 bis 30 Juni 1902, von F. G. Stebler, Eugène Thiélé, A. Volkart und A. Grisch (aus dem *Landwirtschaftlichen Jahrbuch der Schweiz*, Zurich 1902).

Pendant l'année 1901-1902, les 9 686 essais ont porté sur 154 espèces de graines différentes dans les proportions suivantes :

	ESPÈCES	ESSAIS
	—	—
Graines agricoles.	111	7 536
Graines forestières	43	2 150

soit 22,2 °/₀ du nombre des essais portant sur les graines forestières.

Pendant l'année 1902-1903, les 10 274 essais ont porté sur 164 espèces de graines différentes dans la proportion suivante :

	ESPÈCES	ESSAIS
	—	—
Graines agricoles.	116	8 090
Graines forestières	48	2 184

soit 21,3 °/₀ du nombre des essais portant sur les graines forestières.

Il est intéressant de relever pour l'année 1902-1903 le nombre détaillé des envois faits à la station de Zurich ainsi que celui des expéditeurs ; ce détail nous est fourni par le tableau suivant :

CANTON OU PAYS	ENVOIS DE :			EXPÉDITEURS :		
	Marchands	Consommateurs	Ensemble	Marchands	Consommateurs	Ensemble
Suisse (chiffres groupés pour les divers cantons).	1 532	2 192	3 724	94	181	275
Étranger (chiffres groupés pour les divers pays)	6 342	168	6 510	276	26	302
Total.	7 874	2 360	10 234	370	207	577
Expériences personnelles.			40			
			10 274			

Il résulte du tableau précédent que pendant l'exercice 1902-1903 la station d'essai de semences de Zurich a exécuté 10 274 essais dont

3724 pour la Suisse et 6150 pour l'étranger et que le nombre des personnes qui ont adressé des échantillons à analyser à Zurich est de 275 pour la Suisse et de 302 pour l'étranger.

La décomposition des chiffres précédents en ce qui concerne les expériences faites pour l'étranger est la suivante :

PAYS	NOMBRE D'ENVOIS EXÉCUTÉS par			NOMBRE DE PERSONNES ayant envoyé des échantillons		
	des marchands	des consommateurs	Ensemble	Marchands	Consommateurs	Ensemble
Prusse	1 617	51	1 668	90	13	103
Hesse	1 528	10	1 538	10	2	12
Angleterre	821	»	821	31	»	31
Bavière	485	21	506	15	2	17
France	427	10	437	26	2	28
Autriche	422	13	435	28	2	30
Écosse	153	52	205	4	1	5
Hongrie	150	5	155	9	2	11
Hollande	116	»	116	5	»	5
Belgique	114	»	114	7	»	7
Irlande	107	»	107	2	»	2
Wurtemberg	98	6	104	15	2	17
Russie	98	»	98	11	»	11
Amérique du Nord	75	»	75	2	»	2
Danemark	55	»	55	9	»	9
Italie	38	»	38	5	»	5
Bade	24	»	24	5	»	5
Mecklembourg	14	»	14	2	»	2
Total	6 342	168	6 510	276	26	302

Les maisons de commerce, qui ont un très grand nombre d'essais à faire exécuter pour se rendre compte chaque année de la valeur de leurs marchandises et pour pouvoir livrer avec garantie leurs fournitures, passent généralement avec les stations d'essai des contrats spéciaux, afin de bénéficier d'un tarif réduit. Sur cent quarante-cinq maisons de toute nationalité qui ont passé un contrat de ce genre avec l'établissement de Zurich pour l'exercice 1902-1903, nous avons relevé les noms de dix-huit maisons françaises.

Pour terminer ces considérations générales, nous empruntons à

M. le Dr Stebler l'appréciation suivante [1] : « Les expéditions de marchands et de producteurs ont augmenté pendant ces vingt-cinq années de partout et spécialement de l'étranger, et les comparaisons annuelles faites à ce sujet suffisent à montrer dans quelle large mesure la station de Zurich est prise en considération par l'Allemagne, l'Angleterre, l'Autriche-Hongrie, la France, etc., et combien elle a su mériter la confiance des producteurs et des marchands de ces pays.

« En ce qui concerne le pays lui-même, le nombre des essais directs et des contre-analyses s'est élevé aussi dans une très grande proportion; agriculteurs et syndicats nous envoient de plus en plus des échantillons à examiner pour savoir si la pureté, la faculté germinative, etc. de leurs fournitures sont bien conformes aux garanties qui leur sont données par le marchand. Les relevés faits à ce sujet à Zurich pendant les vingt-cinq années de fonctionnement de cette station sont significatifs; il résulte en effet de leur comparaison que dans la première période de cinq années, 22,2 °/₀ des contre-vérifications donnaient un résultat ne s'accordant pas avec la garantie; dans la deuxième période de cinq années, il n'y en avait plus que 15,3 ; dans la troisième 13,7 ; dans la quatrième 10,7 et enfin dans la cinquième période de cinq années 9,7 °/₀ seulement. Ces chiffres montrent combien le contrôle exercé par les stations d'essai a amélioré les conditions générales du commerce des graines; il montre aussi qu'aujourd'hui l'acheteur est bien plus sûr d'être servi consciencieusement que jadis, parce que grâce à l'activité de la station, la qualité moyenne des semences soumises aux essais s'est considérablement améliorée. »

Le règlement en vigueur à la station de Zurich a été élaboré par la commission de surveillance des établissements fédéraux d'essais et d'analyses agricoles dans sa séance du 29 mai 1903; il a été approuvé et publié à Berne le 10 juin 1903 par le département fédéral de l'agriculture. Il concerne la surveillance du commerce des engrais, des fourrages, des semences et des autres produits utilisés par l'agriculture et les industries qui s'y rattachent. Nous y signalerons en ce

1. *Compte rendu officiel,* 1901-1902.

qui concerne les essais de semences, les prescriptions du titre I relatives à la surveillance du commerce des semences et aux analyses de contrôle, prescriptions qui sont contenues dans les paragraphes suivants :

§ 11. — Maisons contrôlées et contrats de contrôle;

§ 12. — Garanties à fournir par les maisons contrôlées en vertu du contrat de contrôle;

§ 13. — Analyses gratuites et certificats de contrôle;

§ 14. — Prélèvement et envoi des échantillons;



Fig. 1

§ 15. — Résultats d'analyses;

§ 16. — Réclamations;

§ 17. — Indemnités.

Nous y signalerons en second lieu les prescriptions du titre II relatives aux analyses directes, sur envoi d'échantillons.

Il nous reste maintenant à décrire l'installation de la station et à parler sommairement des méthodes d'analyse employées.

La station d'essai de semences de Zurich est très confortablement installée dans l'aile gauche du bâtiment de l'Institut chimique, annexe du Polytechnicum de Zurich (fig. 1); des locaux spéciaux sont affectés aux bureaux, aux collections, à la préparation et à la mani-

pulation des échantillons, à l'installation des appareils de germination et à toutes les opérations nécessaires pour le bon fonction-



Fig. 2

nement des appareils. Nous noterons dans une visite rapide : le bureau de la comptabilité, situé à côté de celui du directeur de la



Fig. 3

station, dans lequel se trouve classée une très importante collection de graines de toute espèce, tant agricoles que forestières ; une grande

salle très éclairée, où s'opèrent le triage et le comptage des échantillons, ainsi que les différents pesages (fig. 2 et 3) ; un certain nombre de petites salles où les ouvrières ne travaillent que deux à deux et sont affectées aux travaux spéciaux (détermination du coefficient de pureté, mise en germoirs, etc.) ; une salle affectée au nettoyage et à la stérilisation, au séchage des germoirs, ustensiles et objets employés pour les expériences ; une salle à étuves, une serre chaude pour les expériences de germination et enfin une bibliothèque.

Le matériel de la station comporte les appareils à germination, balances, thermomètres, pinces, spatules, plateaux, plaques et capsules en verre, etc., outils et accessoires de tout ordre en nombre suffisant pour la manipulation et la mise en expérience de tous les échantillons.

Le personnel attaché à cette station se compose d'un directeur chef du service, auquel sont adjoints trois assistants pour diriger et surveiller les opérations, et d'un nombreux personnel auxiliaire composé de jeunes filles qui effectuent sous la direction des assistants toutes les manipulations des échantillons, des appareils à germination ainsi que les comptages.

La marche des expériences est à peu près conforme à celle qui est indiquée par les prescriptions techniques pour les stations allemandes. Nous noterons toutefois que le nombre de graines employées pour un essai est de 400 ; l'échantillon d'expérience est divisé en deux lots de 200 graines et, si à la fin de l'expérience les comptages accusent une différence de plus de 5 °/₀ entre les deux résultats, l'essai est recommencé.

La durée de l'expérience de germination est de trente jours au maximum pour l'épicéa, le pin sylvestre et les graines analogues ; pour le pin Weymonth elle est illimitée.

Avant la mise en expérience, on procède pour un certain nombre de graines à un trempage préalable, mais nous n'avons pas connaissance d'un règlement fixe établi à ce sujet ; toutefois, il est d'usage à Zurich d'agir de la façon suivante :

Pour le pin sylvestre on ne procède pas à un trempage préalable ;

Pour l'épicéa on procède à un trempage de vingt-quatre heures dans de l'eau à la température de la salle ;

Pour le mélèze on procède à un trempage de quarante-huit heures dans de l'eau à la température de la salle ;

La durée du trempage est comptée dans le temps affecté à l'essai de germination.

Nous n'avons pas ici à entrer dans les détails accessoires des diverses manipulations et nous devons nous contenter de décrire les appareils employés.

Nous avons dit précédemment que la station procédait à l'essai des graines agricoles aussi bien qu'à celui des graines forestières. A Zurich, des appareils spéciaux sont employés pour ces deux catégories d'expériences.

Pour l'essai de germination des graines agricoles, on se sert de l'étuve à température constante du professeur Dr Nobbe modifiée par l'addition des tubes Schribaux.

Dans cette étuve, que nous avons déjà vue à Tharandt et à Eberswalde, se trouvent des plateaux remplis d'eau sur une épaisseur de 1 centimètre environ sur lesquels on place les godets Nobbe en terre poreuse très homogène ; c'est dans ces godets qu'on dépose avec soin les graines à mettre en expérience ; grâce à la porosité des godets, les graines se trouvent naturellement maintenues au degré d'humidité jugé nécessaire. Notons ici que la stérilisation des godets est assurée de la façon la plus sérieuse ; après chaque expérience le godet contaminé est transporté dans la salle des nettoyages ; là il est fixé sur une plate-forme susceptible de tourner horizontalement autour de l'axe vertical qui la supporte ; ce mouvement de rotation est donné par un petit moteur à eau. Lorsque le godet est en mouvement, l'ouvrière préposée au nettoyage le gratte avec une pierre ponce de façon à l'user également dans toutes ses parties et à lui donner ainsi une surface absolument neuve. Après cette première préparation, le godet est passé dans un autoclave et stérilisé à la vapeur d'eau sous pression ; enfin il est séché dans une grande étuve. Ces précautions, sur lesquelles nous insistons à dessein, montrent avec quel soin doivent être faites les diverses manipulations dans les stations d'essai de semences, si l'on ne

veut pas être exposé à avoir des résultats entachés d'erreurs accidentelles [1].

Nous retrouverons l'emploi de ces germoirs en terre poreuse pour l'essai de germination de quelques graines forestières très légères, comme l'aune et le bouleau.

Essai des graines forestières

L'essai de germination des graines forestières est fait sur papier buvard dans une serre chaude où la température est maintenue d'une façon constante à 25 degrés centigrades environ. Les appareils employés varient suivant qu'il s'agit des graines du pin sylvestre, des graines de la plupart des autres conifères communes, des graines ou semences d'aune et de bouleau, et enfin des semences d'un certain nombre d'arbres feuillus tels que le chêne et le hêtre.

1° Essai de la graine de pin sylvestre. — L'appareil employé pour les essais de germination de la graine de pin sylvestre dont, d'après le Dr Stebler, la germination se produirait mieux à la lumière, est celui du Dr Jacobsen, de Copenhague [2]. Les graines à essayer reposent sur une rondelle de papier buvard de 8 centimètres de diamètre environ; cette rondelle est placée elle-même sur deux autres rondelles de même diamètre en laine faites au crochet [3]; l'ensemble repose sur une petite assiette en aluminium perforée en son centre d'une ouverture circulaire correspondant à celles des rondelles. L'humidité est transmise à l'appareil par une mèche en coton qui est fixée d'une part aux rondelles de laine, et qui plonge d'autre part dans une cuve à eau. Enfin, une petite cloche en verre, percée d'une

---

1. Des moisissures de toute espèce sont susceptibles de se développer dans un lot de graines mis en germination. Si ces moisissures proviennent de causes indépendantes des graines mises en expérience, elles modifient de suite, d'une façon très fâcheuse, la marche normale de l'essai.

2. L'appareil de Jacobsen a été inventé et construit en Danemark par un Danois, Chr.-P. Jacobsen : il est utilisé à la station d'essais de semences de Copenhague pour les espèces de graines qui germent vite, comme par exemple le pin sylvestre.

3. Ces rondelles sont découpées ou faites à Zurich par les jeunes filles de la station.

ouverture à sa partie supérieure pour assurer l'aération des graines, recouvre le tout et repose par sa base sur l'assiette d'aluminium.

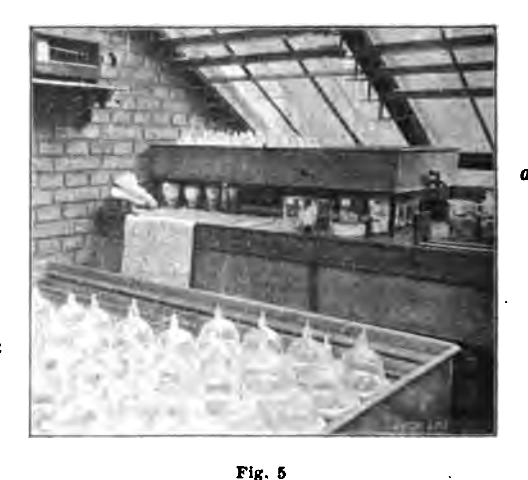


b

Fig. 4

b) Germoirs en papier buvard pour la germination de la majorité des graines de conifères.

Disons pour compléter cette description qu'un grand nombre de ces appareils sont disposés sur des plaques de verre formant en



a

a

Fig. 5

a) Appareils danois de Chr.-P. Jacobsen pour la germination des graines de pin sylvestre.

quelque sorte le couvercle d'une grande caisse en zinc remplie d'eau, et que ces plaques de verre ne sont pas complètement juxtaposées,

de façon à permettre le passage des mèches de coton qui vont puiser dans l'eau de la cuve l'humidité nécessaire à chaque série de rondelles.

Cet ensemble, qui constitue l'appareil à germination de Jacobsen (fig. 4 et 5), est placé dans la serre chaude à température constante. La cuve à eau repose elle-même sur quatre pieds, de telle sorte que si la température de la serre s'abaisse au-dessous de 25 degrés centigrades, il suffit de placer sous cette cuve une petite flamme d'alcool pour maintenir la température de l'eau et par suite de l'ensemble du système au degré voulu.

Notons enfin qu'au début de l'expérience on stérilise dans l'eau bouillante les rondelles de laine et de papier buvard ; dans le cours de l'expérience on compte les graines germées environ tous les deux jours et on profite de ces opérations pour repasser les rondelles de laine à l'eau bouillante et même pour les changer, ainsi que le papier buvard, s'il y a lieu.

Avec les soins minutieux qui sont facilement donnés à Zurich, cet appareil donne d'excellents résultats.

2° Essai des graines de la plupart des autres conifères. — Pour les sapins, un grand nombre de pins, l'épicéa, le mélèze, etc., l'appareil employé est un simple germoir en papier buvard maintenu humide dans la serre à température constante. A cet effet, une feuille de papier buvard spécial est pliée en deux et repliée ensuite sur les trois bords libres de façon à former un germoir fermé dans lequel on place un des échantillons d'expérience.

Plusieurs de ces germoirs ainsi préparés et numérotés sont superposés dans un vase en verre rempli d'eau et maintenus sous l'eau à l'aide d'une petite presse en verre ; on les laisse ainsi tremper le temps nécessaire, soit peu de temps (une heure environ) soit deux ou plusieurs jours, suivant les graines. Après ce trempage, les germoirs sont retirés de l'eau et déposés sur des feuilles épaisses de papier buvard sec afin de leur faire perdre leur excès d'humidité. Dès que les buvards ne renferment plus que 60 °/₀ environ de l'eau qu'ils avaient à saturation, ce dont l'opérateur juge au toucher, on les dispose par quatre dans des vases en verre dans lesquels on ne met

plus d'eau et dont on obture la partie supérieure avec du coton. Ces vases sont groupés dans des caisses en bois (fig. 4 et 6), ce qui permet de les transporter et de les classer facilement. On laisse les lots d'expérience ainsi disposés dans la serre chaude ; tous les deux jours, on compte les graines germées et on en profite pour redonner à l'aide d'une pipette quelques gouttes d'eau aux buvards afin d'entretenir l'humidité nécessaire ; on change, s'il y a lieu, les buvards qui se tachent de moisissures.

3° **Essai des graines d'aune et de bouleau.** — Les graines d'aune et de bouleau ont besoin, d'après le Dr Stebler, de lumière pour

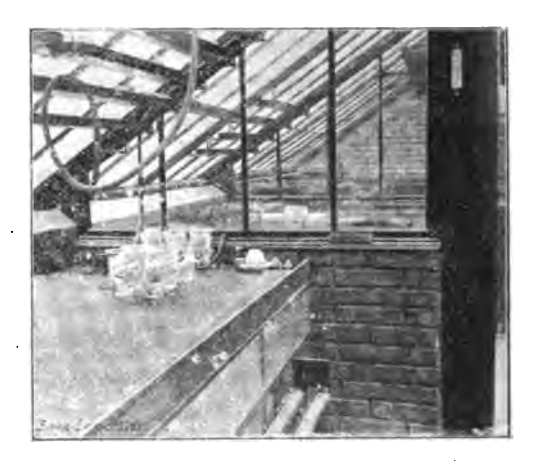


Fig. 6 — Serre chaude pour les essais de germination

leur germination. Pour les essais de ces graines, on se sert à Zurich des godets en terre poreuse de Nobbe ; ces godets sont disposés sur des plateaux en zinc, à bords assez relevés pour qu'on puisse y maintenir une nappe d'eau de 1 centimètre d'épaisseur dans laquelle plongent les godets ; enfin les plateaux sont suspendus à 5 ou 10 centimètres en dessous des verres de la serre chaude. Les comptages s'opèrent tous les deux jours comme précédemment et l'opérateur doit veiller à ce que le niveau d'eau dans la cuve reste toujours à peu près constant, c'est-à-dire à la hauteur voulue pour que les graines placées dans les godets aient toujours le degré optimum d'humidité.

4° Essai des semences d'un certain nombre d'arbres feuillus. — Les semences d'érable, de frêne, de charme, etc., ainsi que les grosses semences telles que les glands et les faînes, sont mises en germination dans des plats ou des terrines remplies de terre (fig. 6, salle du fond) ; ces pots sont disposés dans une petite salle de la serre chaude qui est moins chauffée et ils reposent sur de la braise de coke ou des débris de scories afin d'éviter les attaques des souris.

L'humidité autour des semences est maintenue par des arrosages prudents.

Ces derniers essais de germination sont plus longs à exécuter et par suite moins fréquents à Zurich que ceux des graines de conifères ; souvent aussi, à la demande des parties intéressées, on se contente d'exécuter un essai au couteau pour un grand nombre de grosses semences dont la germination est trop longue à suivre.

III. — NOTES SUR QUELQUES AUTRES STATIONS ÉTRANGÈRES

Stations royales hongroises d'essais de semences

Toutes les stations d'essai de semences hongroises (stations de Budapest, de Kassa, de Debreczen, de Keszthely et de Kolozsvar) sont établies par l'État et, sauf la station indépendante de Budapest, elles sont rattachées aux instituts agronomiques.

La station de Budapest a commencé à fonctionner en 1884 dans un laboratoire rattaché à la chaire de botanique de l'école vétérinaire supérieure. En 1891, elle a été séparée de cet institut et rendue complètement indépendante. Les autres stations sont de fondation plus récente.

Ces stations ont pour mission le contrôle sur le trafic des semences et d'autres produits végétaux ; elles ont pour devoir de défendre les intérêts des agriculteurs, horticulteurs et sylviculteurs contre les fraudes et les falsifications auxquelles ils sont exposés ; elles sont destinées à faire des essais sur le développement des plantes agricoles, sur la formation, la maturité, la germination et la faculté germinative des graines ; elles ont encore comme rôle d'appeler l'at-

tention du public sur les falsifications et la manière de les reconnaître.

Dans ce but, les stations se chargent des travaux suivants : elles examinent l'identité, la provenance (autant que cela peut se faire par l'examen des graines), la pureté, la faculté germinative, le poids absolu, le poids par unité de volume superficiel et, enfin, le degré d'humidité des graines qui leur sont envoyées ; une de leurs attributions les plus importantes consiste à certifier, par l'adjonction d'un bulletin et par le plombage des sacs, une propriété quelconque constatée dans les graines examinées.

L'activité de ces stations a augmenté dans une très forte proportion depuis la mise en vigueur de la loi XII de 1892, sur la police rurale, et de la loi XLVI de 1895, sur la répression des falsifications de denrées, produits et articles agricoles. Il n'entre pas dans le cadre de notre travail d'exposer cette législation spéciale qui réglemente d'une façon très sévère le commerce des semences et rend obligatoires pour tous, d'une part les garanties à fournir sur les semences du commerce, d'autre part les analyses de contrôle. Nous renverrons à ce sujet à l'intéressant article du Dr Arpag-Degen sur les stations royales hongroises d'essai de semences (1).

De même, en ce qui concerne l'organisation et les méthodes d'analyse absolument uniformes de ces stations, nous nous bornerons à constater que, en ce qui concerne les essais de semences forestières, les expériences sont dirigées suivant des prescriptions qui reproduisent d'une façon générale celles que nous avons signalées en Allemagne et en Suisse.

A la station de Budapest, la germination des graines de conifères est obtenue à l'aide de l'appareil de Jacobsen ; l'essai de la faculté germinative porte sur trois séries de 200 graines ; le pour-cent de germination est donné par le pour-cent moyen des graines qui ont germé dans chacune des séries, à la condition qu'il n'existe pas un écart de plus de 10 % entre les résultats obtenus dans chaque série.

---

1. *Service des stations agronomiques hongroises*, ouvrage publié à l'occasion de l'Exposition universelle de 1900 par la commission centrale du Service des stations agronomiques au ministère royal hongrois de l'agriculture. Budapest, 1900.



Le pour-cent des graines encore fraîches en apparence à la fin des essais est porté dans une rubrique à part avec la mention qu'une certaine partie de ces graines, impossible à déterminer dans le cas particulier, germera encore plus tard.

Le nombre total des analyses effectuées à la station de Budapest a été de 764 en 1881, à l'époque de ses débuts; il s'est progressivement élevé jusqu'à 3 783 en 1891, 8 006 en 1892, 12 427 en 1893 et enfin 28 389 en 1898.

La station, installée depuis 1901 dans un bâtiment spécial qui répond en tous points aux exigences du service, dispose d'un personnel, de crédits et d'un matériel en rapport avec son activité ; elle est à cet égard largement dotée.

Stations autrichiennes

En Autriche nous avons à signaler la station d'analyse et de contrôle de semences forestières de Mariabrünn, créée en 1889 et annexée à la station impériale-royale de recherches forestières de l'académie forestière de Mariabrünn. Nous avons décrit au sujet de la station d'Eberswalde l'appareil employé pour les essais de germination dans cette station.

Nous devons mentionner aussi l'importante station d'essai de semences de Vienne.

Stations danoises

En Danemark, il existe à Copenhague une importante station d'analyse et de contrôle de semences, qui s'occupe aussi bien des graines agricoles que des semences forestières. L'appareil de Jacobsen y est employé pour toutes les graines forestières qui germent vite, comme par exemple le pin sylvestre ; pour les autres semences de conifères dont la germination est plus lente, comme par exemple les *Abies magnifica, Abies nobilis, Abies concolor, Larix, pinus maritima, pinus strobus, pseudotsuga Douglasii,* etc., on emploie de simples germoirs en papier buvard, comme nous l'avons déjà vu faire sous deux formes différentes à Tharandt et à Zurich.

IV. — STATIONS FRANÇAISES

Le contrôle des semences forestières est très peu appliqué en France, sauf en ce qui concerne les acquisitions ou les récoltes effectuées par l'État, et il suffit, pour s'en rendre compte, de jeter un coup d'œil sur l'organisation des services compétents. Ces services comprennent la station officielle d'essai de semences du ministère de l'agriculture et la station d'expériences du domaine forestier des Barres.

Station d'essai de semences du ministère de l'agriculture (1)

La station officielle d'essai de semences du ministère de l'agriculture a été créée à Paris en 1884 sur la proposition de M. Risler, alors directeur de l'Institut national agronomique ; l'organisation et la direction de cette station furent confiées à M. Schribaux, au retour d'une mission de plusieurs mois en Allemagne, en Autriche, en Danemark et en Suisse. Comme les établissements similaires de ces divers pays, la station de Paris eut un double but :

1° S'occuper de tout ce qui touche à l'analyse et au contrôle des semences et de leurs produits dérivés, à l'amélioration de ces semences, à leur production et à leur conservation ; à ce titre, la station effectue pour le compte des agriculteurs et des négociants des analyses de semences, de farines et de tourteaux ;

2° Contribuer au progrès de l'agriculture par des recherches de physiologie végétale visant l'amélioration et la sélection des plantes cultivées ; à ce titre, elle cherche à déterminer, par des expériences poursuivies à la fois à la ferme expérimentale de l'Institut national agronomique et sur divers points du territoire français, quelles sont les variétés de plantes cultivées qui méritent surtout d'être propagées en France.

1. D'après les comptes rendus officiels annuels de la station d'essai de semences de Paris et les renseignements qu'ont bien voulu nous donner M. Schribaux, directeur et notre camarade Bussard, sous directeur de la station d'essai.



En ce qui concerne les analyses agricoles, le développement de la station s'est accentué d'une façon très marquée depuis sa fondation; le chiffre annuel des analyses est monté progressivement de 117 au début, en 1885, jusqu'à 2 201 pour l'exercice 1902-1903, et le produit annuel de ces analyses atteint aujourd'hui une moyenne de 4 000 à 5 000 fr.

L'examen des chiffres qui précèdent démontre que l'établissement de Paris est en pleine prospérité et qu'il rend au monde agricole de réels services; nous ajouterons, comme le mentionne d'ailleurs le compte rendu officiel de 1901, qu'on jugerait mal de l'influence exercée par la station sur les transactions relatives aux semences en se basant seulement sur le nombre des analyses qu'elle exécute; ces analyses portent en effet, pour la plupart, sur des livraisons considérables; elles sont demandées surtout par le commerce de gros et les syndicats agricoles, et il n'est pas rare qu'un échantillon représente quarante ou cinquante balles de trèfle ou de luzerne, 10 000 à 15 000 kilogr. de graines de betteraves; chacune d'elles a donc une portée très étendue et se répercute sur un très grand nombre de livraisons de détail. Quant aux analyses demandées par les agriculteurs ou le petit commerce à titre de vérifications, elles constituent de beaucoup la partie la moins importante du travail actuel de la station; nombre de cultivateurs et de commerçants achètent des graines comme ils achèteraient du sucre et des épices, sur la simple apparence de la marchandise qui ne leur indique nullement la qualité et ils font preuve à cet égard encore aujourd'hui d'une très grande insouciance, au détriment de leurs intérêts.

Pour changer cette situation, il suffirait que l'établissement fasse un peu de propagande dans les campagnes par l'intermédiaire des professeurs d'agriculture et par la voie de la presse; il suffirait qu'on apprenne aux petits cultivateurs, à ceux précisément qui ont le plus besoin du concours de la station, l'utilité de cet établissement dont ils ignorent à peu près l'existence; cette considération nous conduit à préciser la situation de la station de Paris, qui d'après un des derniers rapports officiels en était encore réduite à restreindre dans une très large mesure sa publicité, à garder le silence sur des travaux qu'elle aurait eu grand intérêt à publier, et cela dans la crainte

d'avoir un surcroît d'analyses qu'elle savait ne pouvoir exécuter en temps utile.

Cette déplorable situation, portée à la connaissance du ministre par M. Schribaux, dans ses rapports officiels, n'a pas duré ; par un arrêté récent, M. le ministre de l'agriculture a donné à la station de Paris une nouvelle organisation en rapport avec sa prospérité croissante. L'établissement est désormais entré dans une nouvelle phase de développement ; mais, et nous reproduisons en cela l'avis autorisé du directeur de la station, ce développement portera encore aujourd'hui sur les essais et les expériences utiles au monde agricole ; il y a encore trop à faire dans cette branche pour que la station de Paris puisse songer à s'occuper des intérêts forestiers, à moins qu'on n'arrive à lui donner dans ce but une tout autre extension.

Nombre par années d'analyses effectuées à la station de Paris

ANNÉES	NOMBRE D'ANALYSES de semences forestières — Essais de pureté	de faculté germinative	de valeur culturale	NOMBRE total des analyses (toutes semences)
1884-1885	»	»	»	117
1885-1886	»	»	»	384
1886-1887	»	»	»	428
1887-1888	»	»	»	536
1888-1889	1	1	1	660
1889-1890	»	2	»	476
1890-1891	»	2	»	502
1891-1892	»	1	»	566
1892-1893	»	»	»	586
1893-1894	1	1	1	1 184
1894-1895	»	»	»	1 294
1895-1896	2	3	2	1 256
1896-1897	»	»	»	1 558
1897-1898	4	4	4	1 747
1898-1899	»	»	»	1 852
1899-1900	2	4	2	1 851
1900-1901	3	»	»	2 206
1901-1902	9	20	9	1 788
1902-1903	9	10	9	2 227
Total	31	48	28	21 218

En ce qui concerne ces intérêts forestiers, la station de Paris a eu accidentellement à s'en occuper ; les relevés que nous avons faits à cet égard sont concluants, et il résulte des chiffres que nous donnons ci-dessus que le nombre des essais de semences forestières exécutés à Paris a toujours été très infime ou nul.

S'il était nécessaire cependant de démontrer l'utilité de l'essai des semences forestières, nous voudrions prendre comme exemple la graine de pin laricio soumise au contrôle de la station de Paris pendant l'exercice 1897-1898, qui a donné comme résultat 0 à l'essai de germination, ou encore la graine de pin sylvestre, qui avait une valeur culturale de 20 °/₀. Est-il permis de semer de pareilles semences ? Est-il permis à un propriétaire de les acheter et surtout de les payer dans de telles conditions sans en connaître la valeur ? Enfin, n'est-il pas triste de songer que si quelque vieux stock de semences forestières reste en magasin, un revendeur peu scrupuleux pourra les écouler dans les campagnes, chez les petits propriétaires, chez ceux qui précisément sont le plus souvent trompés ? Quelques semis effectués dans de pareilles conditions sont susceptibles de décourager pour jamais l'initiative privée en matière de reboisement.

Nous n'entrerons pas dans le détail du règlement que s'est imposé la station de Paris ; disons seulement qu'elle a introduit en France la vente des semences sur garantie et qu'elle passe à cet effet avec les principales maisons de semences des conventions, dites contrats de contrôle, en vertu desquelles des analyses de contrôle peuvent être faites gratuitement pour l'acheteur dès que le montant de la fourniture dépasse 5 kilogr. de chaque espèce de semence ; le fournisseur s'engage à reprendre toute marchandise qui ne satisferait pas, après examen à la station, aux garanties données.

Nous nous étendrons un peu plus sur l'installation de cette station, en raison de l'autorité qu'a su acquérir, en matière d'essai de semences, M. Schribaux, directeur de la station.

L'établissement de Paris dispose d'une riche collection de graines exactement déterminées, d'une bibliothèque où sont réunis un grand nombre d'ouvrages spéciaux, de balances d'analyse, des instruments d'optique et du matériel accessoire nécessaires pour l'examen, la préparation et la mise en expérience des échantillons à étudier, d'une

étuve sèche pour la dessiccation des semences, d'une série de tamis système Nobbe mis automatiquement en mouvement à l'aide d'un moteur à eau pour le triage des graines de grosseurs diverses, et d'un grand nombre d'appareils ou d'instruments d'utilité plus spéciale ; elle dispose enfin de trois grandes étuves Schribaux, autorégulatrices, à température uniforme, pour la mise en germination des semences.

L'étuve Schribaux à température uniforme permet, comme l'étuve du Dr Nobbe employée à Tharandt, de placer un grand nombre d'échantillons d'expérience dans des conditions identiques toujours connues. Cette étuve, construite en bois, renferme dix plateaux mobiles en cuivre rouge nickelé, un brûleur à gaz et deux régulateurs à alcool permettant de porter la température de l'étuve au degré voulu et de l'y maintenir d'une façon constante ; elle est chauffée par des gaz chauds qui circulent dans des tubes disposés tout autour des parois dans l'intérieur de l'étuve ; ces gaz se réunissent à la partie supérieure dans une boîte à fumée et de là ils s'échappent à l'extérieur. Ce dispositif, créé par M. Schribaux et adopté ensuite dans tous les systèmes d'étuve, rend la température absolument uniforme dans toutes les parties de l'appareil ; il est complété par la présence, entre le brûleur et le fond de l'étuve, d'une plaque mobile qu'on peut monter ou descendre à volonté afin de diriger des gaz plus ou moins chauds dans les tubes latéraux. Le réglage des températures est obtenu à l'aide des régulateurs à alcool et à mercure de M. Étienne, qui agissent automatiquement sur le débit des rampes à gaz.

Nous devons signaler ici un nouveau régulateur de température dont on trouve la description dans les comptes rendus de l'Académie des sciences [1] ; ce régulateur, adapté à l'étuve Schribaux, peut rendre de grands services lorsqu'on ne dispose pas du gaz d'éclairage et qu'on se propose d'utiliser un autre mode de chauffage, particulièrement le gaz acétylène.

1. « Application du gaz acétylène au chauffage des étuves à germination au moyen d'un régulateur automatique de température », par M. H. Joffrin (*C. R. A. S.*, 28 mars 1904).



La conduite des analyses pour les graines de conifères ne diffère



Fig. 7. — Station d'essais de semences de Paris

pas sensiblement de celle que nous avons précédemment exposée ; nous noterons toutefois les observations suivantes :

1° **Triage des graines.** — Pour déterminer la faculté germinative d'un échantillon de graines, l'essai se fait sur au moins trois fois cent

graines ; le triage de ces graines doit être pratiqué avec le plus grand soin ; les grandes, les moyennes et les petites graines doivent être toutes également représentées dans la quantité triée, et doivent être en des proportions telles que les lots choisis représentent chacun, autant que possible, la moyenne de l'échantillon original.

Chacune de ces séries de cent graines est soumise séparément à l'essai de germination dans des germoirs en papier buvard numérotés, et si les résultats obtenus de série à série accusent une différence de plus de 5 °/₀, il y a lieu de soumettre à un nouvel essai d'autres graines de l'échantillon ; en cas contraire, le pour-cent de la faculté germinative est donné par le pour-cent moyen des graines qui ont germé dans chacune des séries. Pour les graines de conifères, à l'issue des essais, le pour-cent des graines qui n'ont pas germé, mais qui sont encore fraîches d'aspect, est porté dans une rubrique à part avec la mention qu'une partie de ces graines, impossible à déterminer dans le cas particulier, est susceptible de germer plus tard.

2° Trempage. — Avant d'être soumises aux essais de germination, les graines de conifères sont trempées dans de l'eau propre et tempérée où elles restent de six à quinze heures ; la durée du trempage est comptée dans le temps fixé pour l'essai de la faculté germinative.

3° Germination. — Le choix des couches ou germoirs employés aux essais de la faculté germinative est, en supposant que la température, l'humidité et le changement d'air puissent être bien réglés, d'une importance moindre que celui des graines mises en expérience, dont l'ensemble doit bien reproduire la qualité moyenne de l'échantillon. La station de Paris emploie uniquement des germoirs faits suivant la méthode du professeur Nobbe, en papier à filtre très épais, dans lesquels cent graines se trouvent enfermées entre deux épaisseurs de papier ; ces germoirs sont disposés directement sur les plateaux de l'étuve Schribaux et même superposés plus ou moins irrégulièrement les uns sur les autres si le manque de place l'exige ; M. Schribaux considère que le papier buvard est d'une manipulation facile, propre, qu'il permet à tout moment l'examen facile de l'é-

preuve et qu'enfin, mieux que toute autre matière, il permet de se rendre facilement compte du degré d'humidité de la semence ; M. Schribaux considère en outre qu'avec son étuve à régulateur de température telle qu'elle est installée à la station de Paris et avec le papier buvard, il arrive à régler d'une façon très sûre la température, l'humidité et l'aération et, par suite, à placer ses échantillons dans les conditions les plus favorables pour la germination.

4° Humidité nécessaire à la germination. — Un excès d'humidité est toujours nuisible à la germination et provoque la formation de moisissures ; à la station de Paris, l'humidité des germoirs est réglée à environ 50 °/。 du poids d'eau que le papier buvard peut contenir à saturation, et elle est approximativement maintenue à ce degré moyen, bien que les variations d'humidité relativement faibles en plus ou en moins ne soient pas nuisibles à la marche normale de l'expérience.

5° Température. — Pour les essais de germination des graines de conifères, la température de l'étuve est réglée alternativement à 20° centigrades pendant dix-huit heures et à 28° centigrades pendant six heures ; M. Schribaux admet que, pour les semences forestières, les variations de température dans une limite donnée ne sont jamais nuisibles et que par contre elles semblent souvent utiles et tendent à rendre plus rapide la germination.

6° Durée réglementaire des essais. — L'essai de germination est arrêté normalement à vingt-huit jours ; pour le pin Weymouth elle peut être prolongée sur la demande des intéressés ; à la fin de l'essai, il est toujours procédé à l'essai au couteau des graines qui n'ont pas germé ; on note dans une colonne à part les grains frais constatés, c'est-à-dire ceux dont la section a été reconnue fraîche et saine ; une partie de ces graines est susceptible de germer ultérieurement ; cependant on ne les fait pas entrer en compte lorsqu'on établit à la fin de l'essai le pour-cent de germination.

7° Hygroscopicité des semences. — Une analyse faite aujourd'hui d'une façon courante à la station consiste à doser l'humidité moyenne

que renferment les graines et notamment les glomérules de betterave. Cette intéressante question se présente dans les conditions suivantes : les fabricants de sucre ont l'habitude, justifiée d'ailleurs par les nécessités de leur industrie, d'acheter eux-mêmes la semence de betterave afin de la fournir à leurs cultivateurs ; c'est alors souvent pour des fournitures de 50 000 à 100 000 kilogr. qu'ils passent des contrats avec les négociants. Or les glomérules de betteraves se trouvent être très hygroscopiques ; c'est une semence relativement chère (en moyenne 1 fr. le kilogramme) et certains fournisseurs peuvent avoir intérêt à exagérer au moment de la vente la proportion d'humidité que renferme la semence. Cette fraude, accidentelle ou volontaire, présente un double inconvénient : 1° celui de faire payer au prix de la semence un poids d'eau inutile ; 2° celui de mettre la semence dans des conditions très défavorables à sa bonne conservation, car un excès d'humidité favorise l'échauffement des graines mises en tas et entraîne rapidement une diminution importante de la faculté germinative. Le syndicat des fabricants de sucre s'est ému de cette situation et, sur l'initiative de la station de Paris, il a fait insérer dans les conditions des marchés de graines de betteraves une clause en vertu de laquelle l'humidité des glomérules ne devra pas dépasser 15 °/ₒ du poids total brut. Cette clause garantie au moment de la vente donne lieu à une analyse de contrôle pour vérifier la teneur en eau que renferme la fourniture. A cet effet, dès que la semence arrive à destination, un échantillon prélevé immédiatement est adressé à la station de Paris dans un flacon de verre bien bouché. Dès la réception de cet échantillon, la station prélève 10 grammes de graines pures et place pendant trois jours ce lot d'expérience dans une étuve sèche où la température est portée à 105° centigrades. A la fin de l'essai, on pèse l'échantillon desséché et on constate la perte de poids.

L'étuve employée à Paris est une étuve Wiesneg à régulateur de température ; elle est munie d'un thermomètre ; il est facile, à l'aide d'une rampe à gaz, d'amener la température au degré indiqué et de la maintenir constante pendant toute la durée de l'expérience.

Une étude sur l'hygroscopicité des semences forestières, qui se vendent au poids et souvent à raison de plus de 5 à 7 fr. le kilogramme, permettrait de dire s'il n'y aurait pas lieu d'adopter une

clause de même genre lorsqu'il s'agit de passer des contrats au sujet de fournitures importantes, notamment en ce qui concerne le mélèze, graine dans laquelle la proportion d'impuretés est toujours considérable.

Station d'expériences du domaine forestier des Barres

La création par l'administration des forêts d'une station d'essai de semences forestières au domaine national des Barres (Loiret) date de l'année 1872, époque à laquelle l'administration forestière française a centralisé aux Barres le service des graines résineuses.

En organisant cette station, le ministre d'alors a voulu qu'elle s'occupât exclusivement des graines achetées au commerce par l'administration forestière ainsi que des graines récoltées par l'État dans les sécheries domaniales pour être réparties dans les cantonnements forestiers. Cette spécialisation, regrettable à tous points de vue, a eu comme conséquence que l'établissement des Barres, malgré son origine ancienne[1], n'a été appelé à prendre dans la suite des années aucune extension.

Depuis l'année 1872, l'administration forestière française n'achète au commerce des fournitures de graines résineuses qu'après avoir passé avec ses marchands des contrats relatifs à chaque achat. Dans ces contrats, le vendeur garantit la pureté et la faculté germinative de la marchandise ; il s'engage à accepter, en ce qui concerne les délais de livraison ainsi que les vérifications des garanties données et la détermination du prix définitif d'acquisition, toutes les clauses d'un cahier des charges dressé spécialement à cet effet [2].

1. La date de création de l'établissement d'essai de semences des Barres (1872) correspond à la période d'installation de la première station d'essais de semences, à Tharandt (Saxe) en 1869 ; elle est antérieure de six années à la date de création de l'établissement de Zurich, établissement qui aujourd'hui effectue annuellement plus de dix mille analyses de semences, parmi lesquelles une proportion de 20 à 22 °/₀ concerne les semences forestières, et nous avons dit précédemment que ces semences forestières envoyées pour analyse à Zurich proviennent de tous les pays, y compris la France.

2. *Cahier des charges relatif aux fournitures des graines résineuses à faire à l'administration des eaux et forêts.* Paris, 1904.



En dehors des graines achetées au commerce, les divers magasins et sécheries de l'administration forestière où sont préparées les graines résineuses récoltées dans les massifs forestiers français envoient chaque année à la station d'essai des Barres des échantillons de leurs récoltes. Ces graines sont soumises à des épreuves de germination dans des conditions analogues à celles subies par les graines du commerce, et les agents forestiers chefs des magasins ou sécheries sont avisés des résultats des essais.

Nous trouvons des détails intéressants sur cet établissement en Autriche dès 1879 dans un travail du professeur Seckendorf [1]; en France en 1890 dans un rapport de M. Pierret [2] sur l'installation de la station et les résultats acquis pendant la période de 1872 à 1890; en Autriche en 1893 dans une notice publiée par le professeur Cieslar [3] et enfin en Allemagne en 1903 dans un article du professeur Schwappach [4].

En raison de l'origine ancienne de la station des Barres, divers appareils ont été successivement employés, soit isolément, soit comparativement à ceux qui étaient alors adoptés dans les stations étrangères. Nous signalerons notamment le germinateur à gaz de M. Dubreuil, où la germination avait lieu sur flanelle; le germinateur de M. Pierret, dans lequel la germination pouvait être effectuée comparativement sur sable et sur flanelle et dans lequel une combinaison ingénieuse de tubes-syphons permettait de régler l'humidité donnée aux semences en germination; enfin, les cages grillées pour la germination sur sable installées par M. Pierret dans la serre

1. *Die forstlichen Verhaltnisse Frankreichs,* von prof. Dr A. Freiherr von Seckendorff, K. K. Regierungsrath, Leiter des forstlichen Versuchswesens in Œsterreich, Wien, 1879.

2. « Rapport sur la station d'expériences du domaine forestier des Barres-Vilmorin », par Pierret, inspecteur des forêts, professeur à l'école forestière des Barres (*Bulletin du ministère de l'agriculture,* 9e année, n° 6. Paris, 1890).

3. *Aphorismen aus dem Gebiete der forstlichen Samenkunde : die forstliche Versuchs- und Samencontrolstation in Barres-Vilmorin in Frankreich, ihre Thätigkeit und Erfolge,* von Dr Adolf Cieslar, K. K. Adjunct der forstlichen Versuchsanstalt in Mariabrünn, aus dem forstlichen Versuchswesen Œsterreichs, 1893.

4. « La Station d'essai de semences forestières d'Eberswalde », par le professeur Dr Schwappach (*Revue dendrologique de Beissner.* Janvier 1903).



chaude d'expériences, cages dans lesquelles l'humidité nécessaire était maintenue par des arrosages fréquents effectués à l'aide de pulvérisateurs.

L'expérience et la pratique des essais exécutés aux Barres a semblé mettre en infériorité la flanelle dont le maniement est délicat et l'emploi relativement coûteux; elle a montré que la germination sur sable pouvait donner pour un grand nombre de semences forestières de bons résultats, et que ce procédé pouvait spécialement être utile pour les graines germant lentement et irrégulièrement, mais à la condition de suivre de très près les expériences et d'avoir le soin, d'une part d'assurer une stérilisation parfaite de la couche de sable, d'autre part de maintenir d'une façon méthodique les semences placées sur le sable à un degré de chaleur et d'humidité favorables à une germination rapide, et enfin de veiller à ce que les graines déposées sur les germoirs restent bien adhérentes avec la couche de sable.

Quant à la germination sur papier buvard, elle a été essayée avec succès en suivant la méthode de M. Schribaux; l'appareil provisoirement utilisé à cet effet est une simple étuve à plateaux placée dans la serre chaude des germinations; sur chacun des plateaux, dont le fond est en verre, on étend une feuille de papier buvard humide, feuille sur laquelle reposent directement les germoirs en papier buvard renfermant les graines d'expérience; une nouvelle feuille de papier buvard recouvre le tout; enfin, l'humidité générale des germoirs est maintenue à un degré moyen par des pulvérisations périodiques d'eau à la température de la serre d'expériences.

C'est à ce dernier procédé que nous donnons actuellement la préférence pour la majorité des graines résineuses que nous avons à essayer, en nous basant sur les mêmes motifs que les professeurs Nobbe en Allemagne, Stebler à Zürich et Schribaux en France.

DEUXIÈME PARTIE

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX ET NOTES SUR LES GRAINES RÉSINEUSES

Pin sylvestre

(*Pinus sylvestris* Lin.)

Le pin sylvestre est aujourd'hui l'essence la plus employée dans les travaux de reboisement en France. Sa graine est très chère dans le commerce, et les fournitures faites peuvent être de mauvaise qualité lorsqu'on ne s'entoure pas de toutes les garanties possibles.

Nous mettrons en parallèle, au sujet de cette semence, quelques résultats déjà acquis.

Pureté. — Des échantillons de provenances très diverses ont donné comme coefficient de pureté les chiffres suivants :

		MOYENNE	MAXIMUM	MINIMUM
		°/°	°/°	°/°
Nobbe	1876 [1] : Expériences sur la qualité des semences du commerce	97,42	100	90,89
	1889-1898 : Station de Tharandt.	97,78	98,55	95,61
Schwappach	1900 : (Station d'Eberswalde).	98	»	»
	1901 : —	97,8	»	»
	1902 : —	96,7	»	»
Station de Zurich.	1902-1903 : D'après 365 essais.	95,9	99,4	75,9
Station de Paris.	1888-1903	96,71	98,49	92,36
Station des Barres.	1903-1904 : Graine achetée au commerce avec garantie	99	99,6	98,5
	Graine provenant des sécheries de l'administration forestière.	95,43	99	90
Rafn [2], à Copenhague.	1900-1903	96,29	99,40	88

Dans ces divers essais de graines de toutes provenances, le coefficient de pureté a varié de 75,9 (minimum) à 100 (maximum), c'est-

1. *Handbuch der Samenkunde*, von Dr Nobbe. Berlin, 1876.

2. « Etwas über Samenuntersuchungen », von Johannes Rafn (*Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft*, 1900-1903).

à-dire que la proportion d'impuretés renfermée dans 100 kilogr. de fourniture a varié de 0 à 24 kilogr.

Cette proportion d'impuretés qui, pour une semence d'un prix relativement élevé (5 à 7 fr. le kilogramme en moyenne), est intéressante à considérer au moment des transactions, doit être réduite au minimum par les négociants. Avec les instruments perfectionnés dont dispose le commerce aujourd'hui, elle ne doit pas dépasser 0 à 5 °/₀; *on peut admettre que le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin sylvestre doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.*

Nous sommes d'avis qu'on ne doit pas consentir de transactions avec une garantie de pureté inférieure, et cela pour deux raisons :

1° La graine désailée de pin sylvestre est une semence de grosseur moyenne ; elle est facile à séparer mécaniquement de la plus grande partie des impuretés (débris d'écailles, pierrailles, etc.) qui y sont mélangées et qui n'ont généralement pas les dimensions, la forme et le poids des graines saines. Cette opération de nettoyage incombe au négociant et l'acheteur doit se refuser à payer au prix de la graine, sur une fourniture de 100 kilogr., un poids brut de matières inertes supérieur à 5 kilogr.

2° Bien que le degré d'hygroscopicité des semences forestières soit peu connu, il paraît certain que les matières inertes telles que débris d'ailes et d'écailles, brindilles, etc., sont essentiellement plus hygroscopiques que les graines saines ; par suite, si les impuretés sont en excès, l'acheteur est exposé à perdre de ce chef sur la fourniture qu'il achète un poids d'eau absolument inutile.

Faculté germinative. — Des échantillons de provenances très diverses ont donné comme coefficient de faculté germinative les chiffres suivants :

		MOYENNE — °/₀	MAXIMUM — °/₀	MINIMUM — °/₀
Nobbe	1876	40	88	0,0
	1889-1898	59,81	66,05	44,87
Schwappach	1902 (Station d'Eberswalde)	77,7	94	26
Zurich	1902-1903	72	98	5
Paris	1898-1903	69,8	83	22
Station des Barres	1903-1901 : Commerce	86,2	92,3	80,3
	— Sécheries	69,3	87,3	23
Copenhague	1900-1903	66,42	91,10	31

Dans ces divers essais de graines de toutes provenances, le coefficient de faculté germinative a varié de 0 (minimum) à 98 °/₀ (maximum), c'est-à-dire que la proportion de graines incapables de germer dans les fournitures que représentent ces échantillons a varié de 2 °/₀ à 100 °/₀.

Cette proportion de graines incapables de germer, qui, en toutes circonstances, doit être connue, si l'on veut pouvoir régler d'une façon méthodique la densité d'un semis, doit être réduite au minimum par les négociants et il appartient à ces derniers de se préoccuper des conditions de récolte, de manipulation et de conservation des graines qu'ils achètent directement aux producteurs.

Rappelons à cet égard que la semence doit être récoltée à maturité, et qu'une récolte trop hâtive (cônes insuffisamment mûrs) abaisse dans une forte proportion le coefficient de faculté germinative [1]. D'autre part, la maturité de la semence ou du cône ne correspond pas toujours à la maturité de la graine, et il en résulte que le coefficient de faculté germinative d'une graine a souvent une tendance à s'élever pendant quelques mois, et même pour certaines graines (pin maritime) pendant quelques années, pour décroître ensuite plus ou moins rapidement.

Décroissance de la faculté germinative. — La faculté germinative de toutes les graines décroît souvent très rapidement avec le temps. Nous n'avons pas cru devoir reproduire ici les tracés graphiques relatifs aux décroissances annuelles et mensuelles du taux de germination de nos diverses essences forestières qui ont été établis par M. Pierret pour la série d'expériences exécutées aux Barres de 1873 à 1889 [2].

---

1. La faculté germinative varie aussi avec l'âge des sujets sur lesquels on récolte les cônes, tout au moins lorsqu'il s'agit d'arbres trop jeunes ou trop vieux ; il serait du plus haut intérêt d'exécuter un grand nombre d'expériences précises à ce sujet.

2. Ces tracés graphiques figuraient à l'exposition universelle de 1889 avec les tableaux et renseignements complémentaires. — Les expériences conduites pendant de longues années par M. Pierret à la station d'expériences des Barres comprenaient : 1° les essais annuels, tendant à établir la loi de la décroissance de la faculté germinative pour chacune des essences résineuses les plus importantes ; à cet effet, des échantillons prélevés sur les diverses fournitures du commerce et sur les graines provenant



Ces tracés, qui représentaient des moyennes déduites d'un grand nombre d'expériences, présentaient encore, d'après M. Pierret, des irrégularités qui, sans doute, sont appelées à disparaître au fur et à mesure que de nouvelles expériences viendront ajouter leurs résultats aux anciens. Mais, si, laissant de côté pour le moment la marche exacte des variations de la faculté germinative, nous voulons établir une moyenne générale approchée, pouvant servir à titre d'indication comparative, il nous suffit de simplifier les graphiques en réunissant pour chaque lot de graines mis en expérience les deux points extrêmes (première expérience donnant au début le pour-cent de germination, et dernière expérience lorsque le coefficient de faculté germinative est devenu nul ou très faible). Les allures de ces lignes de décroissance sont assez régulières pour nous permettre de représenter d'une façon schématique par une seule ligne la décroissance probable de nos principales essences résineuses (fig. A et B).

Nous reproduisons pour le pin sylvestre les deux graphiques qui nous ont permis d'établir, à l'aide des expériences de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative du pin sylvestre.

Dans le graphique A, les abscisses représentent les années successives d'expériences (divisées pour l'établissement du graphique en mois) et les ordonnées représentent le coefficient de faculté germinative de l'échantillon d'expérience à la date indiquée. Chaque ligne du tableau A, qui se rapporte à un seul échantillon suivi pendant plusieurs années, est déterminée par ses deux points extrêmes.

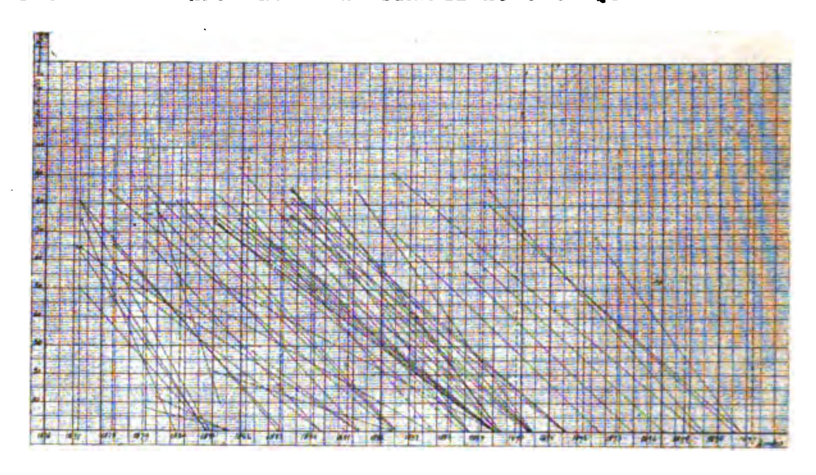
---

des sécheries domaniales étaient conservés en magasin et soumis d'année en année à des épreuves régulières de germination ; 2° les essais mensuels ; à cet effet, un certain nombre d'échantillons, choisis parmi les meilleurs pour chacune des principales essences résineuses, étaient soumis chaque mois à des expériences de germination, de manière à déterminer d'une façon plus suivie et plus rigoureuse les lois de décroissance.

Ces essais ont dû malheureusement être abandonnés faute de personnel et de temps et nous avons dû nous contenter de reprendre annuellement, pour les terminer, quelques-uns des essais en cours.

Il y a aujourd'hui dans cet ordre d'idées une intéressante série d'expériences à reprendre, en ayant soin de choisir comme échantillons d'expériences des lots de graines d'origine certaine, envoyés à la station pour être mis en essai aussitôt après la récolte.

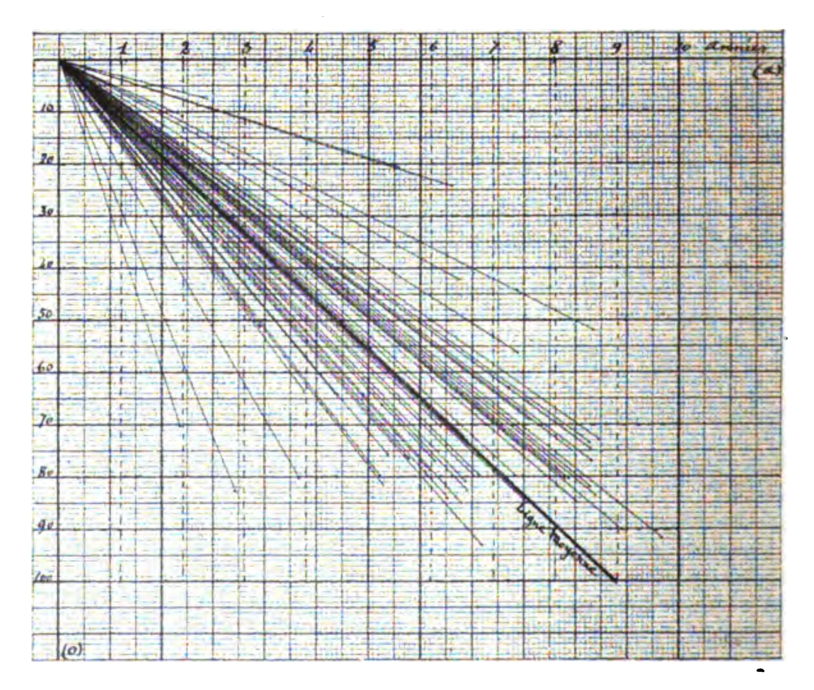




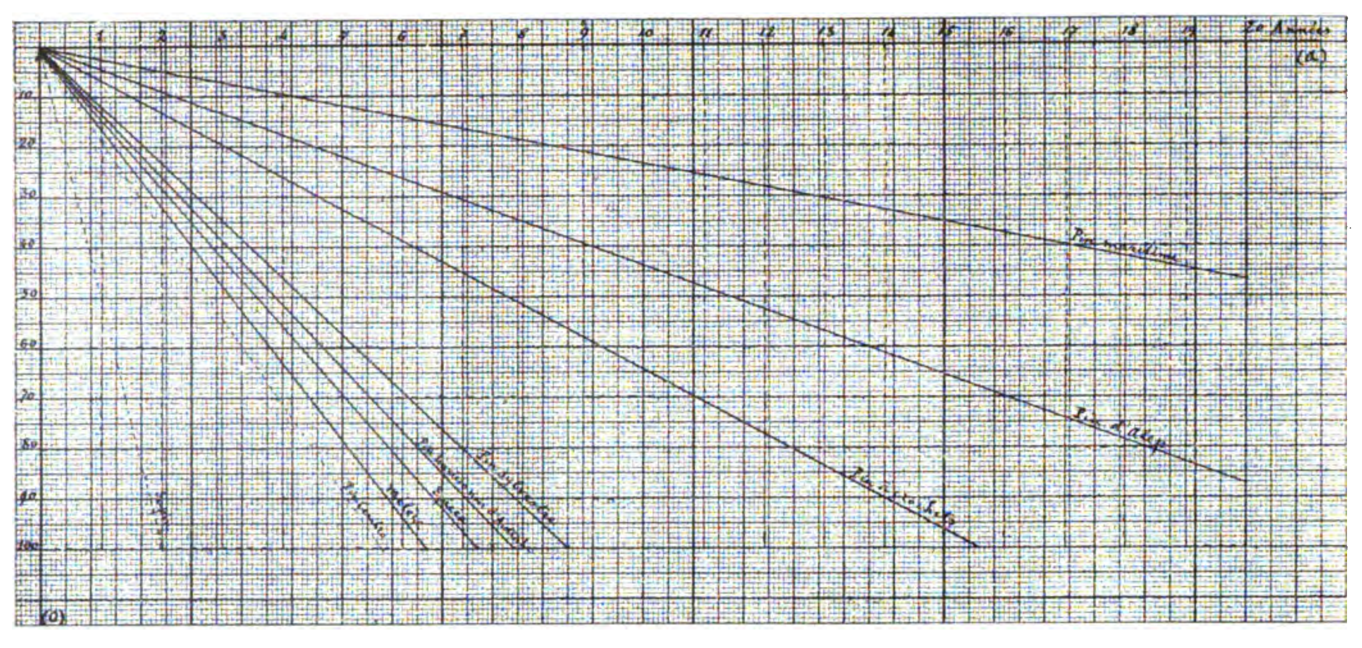
Pin sylvestre (A).

Les abscisses représentent les années du départ et de la fin de chaque expérience.

Les ordonnées représentent le pour-cent de faculté germinative au commencement et à la fin de l'expérience.



Pin sylvestre (B).



Décroissance moyenne de la faculté germinative des semences avec les années.

a) Durée en années de la conservation des semences en magasin.

o) Chiffre dont il faut diminuer la faculté germinative initiale pour avoir celle des semences après conservation en magasin.

Relevé des résultats obtenus à la station d'expériences des Barres dans la période 1875-1895 avec des échantillons de graine de « Pinus sylvestris » Lin conservés en un local sec, aéré, et à l'abri du froid.

(Le premier essai est celui qui suit l'extraction des graines, soit l'année même de cette extraction, soit le printemps suivant, quelle que soit la date de la récolte des cônes.)

NUMÉRO du registre de la station	PREMIER ESSAI		CHIFFRE dont a diminué la faculté germinative initiale année par année, pendant la durée de l'expérience (D'après les résultats des essais)							
	dates	faculté germinative	1	2	3	4	5	6	7	8
		°/o								
5	Décembre 1875.	83,3	24	64	84	86	87	»	»	»
15	Janvier 1877. .	80,5	35	69	72	78	»	80	»	»
25	Idem	83,8	53	77	80	83	»	»	»	»
24	Idem	81,2	33	66	75	80	»	»	»	»
19	Idem	64,6	39	60	61	63	»	63	»	»
22	Novembre 1877.	89,4	28	52	63	79	81	83	84	»
34	Janvier 1878. .	50,9	44	47	49	»	»	»	»	»
42	Idem	65,8	28	56	61	»	64	»	»	»
38	Idem	57,6	21	36	42	53	55	57	»	»
49	Mars 1878. . .	47,4	46	47	»	»	»	»	»	»
47	Décembre 1878.	66,9	37	62	»	65	»	»	»	»
71	Janvier 1879. .	85,7	11	42	65	78	82	84	85	»
82	Mars 1879. . .	78,5	43	62	70	75	77	78	»	»
93	Novembre 1879.	92,2	7	16	33	55	68	91	91	91
101	Idem	81,2	37	52	70	77	80	81	»	»
108	Février 1880. .	24,8	14	12	20	22	23	»	»	»
115	Mars 1880. . .	80,3	41	25	54	63	73	»	»	»
142	Janvier 1881. .	75,5	3	25	38	49	69	72	74	»
144	Idem	74,1	13	36	40	52	69	72	74	»
129	Décembre 1880.	53,4	7	23	34	40	50	52	49	»
133	Janvier 1881. .	83,3	35	63	67	74	79	82	83	83
147	Idem	77,8	4	29	46	59	73	75	77	»
149	Idem	74,3	0	41	47	57	72	73	74	»
148	Février 1881. .	43,2	»	23	29	37	41	»	»	»
172	Octobre 1881. .	93,6	21	50	70	68	90	93	»	»
174	Idem	74,3	»	15	24	40	64	70	72	74
176	Novembre 1881.	80,8	11	48	66	72	80	»	»	»
184	Janvier 1882. .	66,3	6	44	51	62	65	66	»	»
185	Idem	70,0	39	48	57	65	70	70	»	»
190	Idem	76,6	33	45	58	76	76	»	»	»
220	Avril 1883. . .	76,2	10	27	»	68	74	74	76	»

NUMÉRO du registre de la station	PREMIER ESSAI		CHIFFRE dont a diminué la faculté germinative initiale année par année, pendant la durée de l'expérience. (D'après les résultats des essais)							
	dates	faculté germinative	1	2	3	4	5	6	7	8
		°/°								
196	Janvier 1883. .	75,6	5	19	52	68	73	73	75	»
204	Idem	81,5	11	35	61	76	80	81	»	»
206	Idem	72,6	30	45	68	72	72	»	»	»
226	Mars 1883. . .	81,8	29	57	75	81	81	»	»	»
227	Avril 1883. . .	85,5	6	25	59	70	80	82	84	85
229	Idem	81	11	41	69	74	79	79	80	»
231	Idem	84,9	39	56	81	84	84	»	»	»
237	Janvier 1884. .	82,9	17	27	59	73	79	82	»	»
248	Avril 1884. . .	82	18	69	78	80	81	82	»	»
254	Idem	75	35	66	74	»	»	»	»	»
255	Mai 1884 . . .	80,6	38	72	78	79	80	»	»	»
264	Février 1885. .	76,1	38	48	61	69	74	76	»	»
270	Janvier 1886. .	64,5	48	43	59	64	»	»	»	»
275	Avril 1886. . .	91	19	47	67	77	87	91	»	»
282	Idem	70,4	25	51	63	66	70	»	»	»
285	Idem	52,2	47	51	»	»	»	»	»	»
309	Février 1888. .	56,1	41	49	55	56	»	»	»	»
316	Mars 1888. . .	62,6	41	52	59	60	62	»	»	»
321	Mai 1888 . . .	61	40	53	58	59	»	»	»	»
329	Février 1889. .	80,7	9	35	61	66	71	77	80	»
333	Idem	85,5	49	79	79	83	84	85	»	»
344	Avril 1889. . .	57,1	24	44	45	52	»	»	»	»
346	Février 1890. .	84,8	21	31	59	60	72	82	»	»
365	Mars 1890. . .	74,8	44	50	61	62	»	»	»	»
391	Décembre 1891.	45	35	42	44	»	»	»	»	»
392	Février 1892. .	79,1	16	30	43	»	»	»	»	»
399	Avril 1892. . .	68,4	49	59	65	68	»	»	»	»
417	Mars 1893. . .	85,5	19	33	50	76	81	»	»	»
422	Idem	81,4	38	59	66	78	»	»	»	»
430	Idem	83,8	17	33	52	64	80	»	»	»
437	Avril 1893. . .	73,2	18	42	»	»	»	»	»	»
446	Janvier 1894. .	94,7	16	26	69	90	»	»	»	»
456	Idem	68,8	35	45	55	65	»	»	»	»
457	Idem	66,9	27	37	53	63	»	»	»	»
461	Février 1894. .	68,9	19	28	48	65	»	»	»	»
467	Mars 1894. . .	89,2	13	26	56	66	»	»	»	»
468	Avril 1894. . .	81,9	10	26	»	»	»	»	»	»
480	Décembre 1894.	66,2	»	41	59	63	»	»	»	»
505	Juillet 1895 . .	58,3	33	40	50	»	»	»	»	»
	MOYENNE. . . .		26	44	58	67	73	76,8	77,2	83

Dans le graphique B, nous avons reporté au même point d'origine toutes les lignes du tableau A afin d'avoir un faisceau de droites divergentes ; la ligne moyenne de ce faisceau représente la décroissance probable de la faculté germinative avec les années ou encore, ce qui est plus exact, un point quelconque de cette ligne nous indique d'une façon approchée le chiffre dont il faut diminuer le coefficient initial de faculté germinative de la semence pour avoir le véritable coefficient de faculté germinative au moment considéré [1].

Enfin, nous avons reproduit dans un graphique d'ensemble (p. 381) les résultats obtenus à cet égard pour nos principales semences de conifères.

Nous ne pouvons surcharger notre travail de chiffres ; toutefois, pour mettre en évidence ce que représente le graphique d'ensemble figurant la décroissance moyenne des diverses semences avec les années, et pour préciser l'intérêt qu'il y a à déterminer d'une façon beaucoup plus précise, à l'aide de nombreuses expériences répétées sur des échantillons d'origine certaine, les véritables courbes moyennes de décroissance de la faculté germinative des graines avec le temps, nous reproduisons dans le tableau ci-dessus (p. 382, 383) les résultats obtenus aux Barres, sur un grand nombre d'échantillons de graines de pin sylvestre d'origines très diverses.

Avec les moyennes établies d'après les chiffres de ce tableau, nous pouvons dresser une courbe déjà plus approchée de la réalité, et qu'il est intéressant de comparer à la ligne droite que nous avons adoptée dans le tracé de nos graphiques (fig. C).

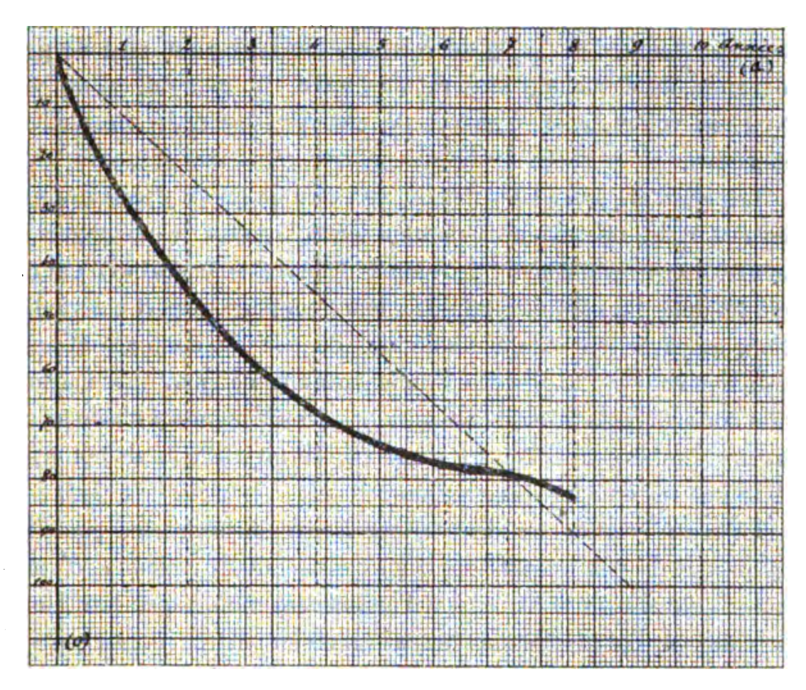
Nous nous abstiendrons actuellement d'en déduire des conclusions trop précises, notre but, en publiant ici quelques-uns des chiffres obtenus par M. Pierret, étant de faire ressortir la nécessité de grouper aujourd'hui un très grand nombre de résultats du même genre pour permettre d'en déduire, si cela est possible, la loi de décroissance moyenne de la faculté germinative des principales graines utilisées dans les repeuplements forestiers.

---

1. Il semble particulièrement intéressant, pour le commerce des semences forestières, de poursuivre les expériences déjà si avancées de M. Pierret, pour arriver au tracé exact des courbes de décroissance de la faculté germinative avec le temps.



Ces expériences, à notre avis, doivent porter aussi sur des échantillons conservés avec des procédés différents (dans un grenier ou magasin bien aménagé à cet effet, — dans le sable, — en silos, etc.), et les résultats comparatifs ainsi obtenus seront du plus haut intérêt pour le commerce des semences forestières. Il appartient aux



Pin sylvestre (C)

Décroissance moyenne de la faculté germinative des graines de Pin sylvestre avec les années.

o) Chiffre dont il faut diminuer la faculté germinative initiale pour avoir celle des graines après conservation.

a) Durée en années de la conservation des semences en magasin.

stations d'essai de semences de se lancer hardiment dans cette voie.

- L'analyse des résultats que représente ce graphique démontre que la faculté germinative de la graine de pin sylvestre décroît assez rapidement avec les années ; au bout de cinq à six ans, le chiffre qui exprime le coefficient de faculté germinative a diminué de 60 à 70 unités ; c'est dire qu'*une semence de pin sylvestre qui n'est*

pas de toute première qualité ne peut être conservée en magasin quelques années sans perdre toute sa valeur marchande (1).

Cette décroissance de la faculté germinative a été observée sur des échantillons conservés avec soin dans un magasin sec, aéré et à l'abri du froid et des gelées. Avec des méthodes de conservation insuffisantes, avec des graines trop humides ou des graines qu'on a laissé s'échauffer en tas, la décroissance du taux pour cent de germination est beaucoup plus rapide ; aussi, en général, n'emploie-t-on pas volontiers des graines de pin sylvestre âgées de plus de deux ans.

Les résultats précédents démontrent combien il est nécessaire que les négociants en semences mettent de côté, sans le mélanger au nouvel approvisionnement, le reliquat de leurs semences qui n'ont pas été vendues dans l'année, afin de vendre toujours à part ces vieilles semences avec une notable diminution de prix ; ils démontrent aussi combien en cette matière la fraude serait facile pour des maisons non consciencieuses, et combien, alors, il est dangereux d'acheter au hasard des semences, comme on achèterait du sucre ou du coton, et d'utiliser ces semences sans aucun contrôle.

Le contrôle établi par les stations d'essai de semences pour les graines de la culture agricole a eu comme double résultat d'améliorer la qualité des semences et d'en abaisser d'une façon sensible le prix moyen. Dans le commerce des graines forestières ce n'est qu'avec une sorte d'hésitation et comme à regret qu'on s'accoutume peu à peu à en contrôler la qualité.

Pour le pin sylvestre, d'après Nobbe, plusieurs négociants de graines forestières ont demandé qu'on considère comme normale une faculté germinative de 60 à 65 %. D'après les chiffres que nous avons cités, cette faible proportion de bonnes graines, qu'on ne peut

1. M. Pierret donne les chiffres suivants : en général, pour le pin sylvestre, la proportion de bonnes graines varie de 74 à 79 % la première année, c'est-à-dire lors de l'essai fait à l'arrivée aux Barres, soit le plus souvent à peu près un an après la récolte des cônes ; la deuxième année, le taux de germination n'est plus que de 49 à 58 %, puis, la troisième année, de 28 à 45 %, etc. ; le rendement est inférieur à 5 % dès la sixième année. On peut donc dire que, quand on achète des graines au commerce, on est en droit d'exiger des graines contenant de 74 à 79 % de bonnes semences. Le Dr R. v. Tubeuf donne, d'après Gayer et Hess, les chiffres de 70 à 75 %.

admettre que pour des années de récolte particulièrement défavorable est en général insuffisante. Avec les connaissances sur les procédés de récolte et de conservation qu'on possède aujourd'hui et en présence des chiffres supérieurs à 90 °/₀ qu'ont donnés de nombreux essais de faculté germinative, on doit admettre que dans une bonne semence de pin sylvestre le nombre des graines incapables de germer ne doit pas dépasser 20 à 25 °/₀, c'est-à-dire que *le coefficient de faculté germinative d'une bonne semence de pin sylvestre doit, dans les conditions normales, être supérieur à 75 ou 80 °/₀.*

Nous noterons ici une intéressante observation de M. Pierret au sujet de l'influence que peut avoir le mode de désarticulation des cônes sur la qualité moyenne des semences ; dans les sècheries, les cônes, généralement très bien ouverts à la chaleur artificielle, laissent échapper toutes les graines, aussi bien celles du centre que celles de la base et du sommet du cône ; la désarticulation à la chaleur solaire serait moins complète et, par suite, la proportion des bonnes graines du centre plus forte. M. Pierret en conclut qu'il est permis de supposer que les sècheries à étuve arrivent à une production plus considérable de graines par kilogramme de cônes, mais que ces graines doivent fournir un coefficient de germination inférieur aux graines obtenues par simple désarticulation à la chaleur solaire.

Toutefois, cette considération n'est pas la seule à envisager et, pour préciser notre pensée, nous citerons un exemple que nous empruntons à M. Thil :

« Les préparations solaires de la graine de pin sylvestre sont condamnées à Mende (Lozère) pour trois causes :

« 1° Échauffement des grandes agglomérations des cônes ;

« 2° Humidité des aires à l'air libre ;

« 3° Diminution de la faculté germinative par suite du retard dans l'emploi. »

Il appartient aux négociants en semences forestières d'adopter, à l'aide du concours des stations d'essai de semences, les procédés qui leur permettent de satisfaire dans une juste mesure aux exigences de l'acheteur.

Ainsi, pour les deux raisons énoncées précédemment, perte de la faculté germinative en un temps relativement court, qualité des

semences très variable avec les modes de récolte, de désarticulation, etc., la prise en considération de la faculté germinative s'impose aussi bien au producteur ou négociant en semences qu'au consommateur.

Cette prise en considération de la faculté germinative des semences présente un autre intérêt; elle permet à l'acheteur de se rendre compte d'une façon précise du prix réel des graines qui lui sont vendues : si un lot de semences est vendu à 80 °/₀ de faculté germinative, il est facile d'établir, en se basant sur le prix d'acquisition, quelle est pour cette fourniture la valeur d'un kilogramme de semences susceptibles de germer (présentant 100 °/₀ de faculté germinative). — Un calcul de ce genre effectué à l'occasion de semences de même espèce, ayant des qualités et des valeurs différentes, démontre fréquemment qu'on paye souvent plus cher la graine utile lorsqu'on achète à vil prix, chez n'importe qui, une semence de qualité inférieure, au lieu de prendre dans une maison de confiance et à un prix relativement élevé, une très bonne semence, garantie à un taux de germination satisfaisant.

L'intérêt de l'acheteur se trouve, en somme, d'accord avec l'intérêt des fournisseurs sérieux de graines forestières, et nous en concluons que l'utilité d'avoir recours aux stations d'essai de semences se manifeste aussi bien pour le propriétaire qui utilise les graines que pour le négociant qui vend la semence.

Le professeur Nobbe, dans une communication à la Société dendrologique allemande, disait, en 1899, à cette occasion, que le marchand de graines est toujours très antipathique à la station de contrôle, et qu'il cherche par tous les moyens possibles à la rendre suspecte à l'acheteur ; nous avons trouvé une opinion contraire dans les publications d'une des plus importantes maisons de commerce de semences en Danemark, et nous partageons plus volontiers cette manière de voir. A notre avis, toutes les maisons sérieuses de semences paraissent avoir aujourd'hui intérêt à travailler d'accord avec les stations de contrôle.

Valeur culturale. — La valeur culturale est le véritable critérium par lequel on doit juger de la valeur marchande d'une fourniture.

Des échantillons de provenances très diverses ont donné, comme coefficient de valeur culturale, les chiffres suivants :

		MOYENNE	MAXIMUM	MINIMUM
		°/₀	°/₀	°/₀
Nobbe	1889-1898 : Station de Tharandt.	59,81	66,05	44,87
Schwappach . . .	1900 : Station d'Eberswalde . .	80,8	»	»
	1901 : — . .	69,1	»	»
	1902 : — . .	75,1	»	»
Station de Zurich.	1902-1903	69	97,4	3,8
Station de Paris .	1888-1903	60	71,11	20,04
Station des Barres.	1902-1904 : Commerce	85,6	91,4	79,5
	Sècheries	66,27	84,2	22

D'après ces divers essais de graines de toute provenance, le chiffre de la valeur culturale a varié de 3,8 °/₀ (minimum) à 97,4 °/₀ (maximum).

En présence de ces chiffres qui démontrent combien encore aujourd'hui peut être mauvaise une semence de pin sylvestre livrée dans le commerce, nous pensons qu'*on peut admettre que le coefficient de valeur culturale d'une bonne semence de pin sylvestre doit, dans les conditions normales, être supérieur à 70 et même 75 °/₀*.

La prise en considération de la valeur culturale permet à l'acheteur de se rendre compte de la valeur relative des diverses fournitures d'une même espèce de graines livrée dans le commerce. C'est à 100 °/₀ de valeur culturale qu'il faut rapporter les prix du marché pour les comparer. En opérant ce calcul, l'acheteur arrivera vite à se convaincre que la graine la moins chère est, en réalité, celle qu'on achète dans les maisons de confiance, en la payant un prix élevé, et non celle qu'on se procure à vil prix et qui provient, en général, de récoltes anciennes ou avariées.

Pour démontrer l'utilité de ces comparaisons, nous citerons un exemple résultant d'expériences faites par M. Johannes Rafn de Copenhague [1], sur la semence de *Picea sitchensis*.

Trois échantillons de cette semence provenant de graines achetées

1. Die Gehölz-Samenuntersuchungen der Saison 1902-1903, von Johannes Rafn, Kjöbenhavn (aus *Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft*, pro 1903).

en Allemagne, en France et en Amérique, dans trois maisons de commerce des plus anciennes et des plus estimées, ont été soumis au contrôle de la station d'essai ; ils ont donné les résultats suivants :

NUMÉROS de contrôle du registre de la station		FACULTÉ germinative	VALEUR culturale
—		—	—
		°/o	°/o
20 736	Graine d'Allemagne	68	61
20 737	— de France	66	62
20 738	— d'Amérique.	37	19

En appliquant à ces résultats le prix de la semence, d'après le catalogue de chaque maison, et en déterminant le prix du kilogramme de semence utile, on obtient les résultats suivants :

1° En ne tenant compte que de la faculté germinative :

	FACULTÉ germinative	PRIX par kilogramme de semence d'après le catalogue	PRIX par kilogramme de semence germant à 100 °/o
	—	—	—
	°/o	marcs	marcs
N° 20 736 . . .	68	35	51,48
20 737 . . .	66	37	56,06
20 738 . . .	37	30,3	81,89

2° En tenant compte de la pureté et de la faculté germinative, autrement dit de la valeur culturale :

	VALEUR culturale	PRIX PAR KILOGRAMME d'après le catalogue	PRIX PAR KILOGRAMME de fourniture utile (valeur culturale 100 °/o)
	—	—	—
	°/o	marcs	marcs
N° 20 736 . .	61	35	57,37
20 737 . .	62	37	59,87
20 738 . .	19	30,3	159,47

Ces chiffres, qui se passent de commentaires, confirment pleinement ce que nous avons dit précédemment.

Marche de la germination. Énergie germinative. — Placée dans les germoirs de la station d'essai de semences, à une tempéra-

Pin sylvestre

				Comptages successifs — Durée de l'expérience en jours																										Faculté germinative	Grain frais
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
Station d'Eberswalde																															
	73	a	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	42	»	25	1	»	18	»	8	»	2	»	»	1	1	»	»	»	»	»	»	»	»	93	
	73	b	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	40	»	16	»	»	20	»	7	»	»	»	»	2	1	»	»	2	»	»	»	»	»	88	
	73	c	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	40	»	20	2	»	21	»	6	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	90	
Station des Barres																															
Graines provenant de la sécherie de Gap.	741	a	Buvard	»	»	»	»	»	»	60	»	»	17	»	»	»	»	»	5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	82	
	741	b	Buvard	»	»	»	»	»	»	69	»	»	14	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	85	
	741	c	Buvard	»	»	»	»	»	»	59	»	»	20	»	»	»	»	»	4	»	»	»	»	2	»	1	»	»	»	86	
Graines provenant des parties centrales des cônes qui ont été récoltés en Auvergne et nous ont été expédiés directement	769	a	Buvard	»	»	35	60	5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	100	
	769	b	Buvard	»	»	58	42	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	100	
	769	c	Sable	»	»	89	9	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	100	
	769	d	Sable	»	»	96	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	100	
Graines provenant de cônes récoltés par les soins de M. le conservateur Fabre sur des pins d'Auvergne vigoureux ayant crû en sol granitique.	778	a	Buvard	»	»	»	81	8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	92	
	778	b	Buvard	»	»	»	69	18	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	89	
	778	c	Buvard	»	»	»	63	27	»	2	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	92	
	778	d	Sable	»	»	»	71	20	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	92	
	778	e	Sable	»	»	»	64	20	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	88	
	778	f	Sable	»	»	»	72	19	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	91	
Graines provenant de cônes récoltés par les soins de M. le conservateur Fabre sur des pins d'Auvergne rabougris et ayant crû en sol calcaire.	774	a	Buvard	»	»	»	85	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	87	
	774	b	Buvard	»	»	»	79	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	80	
	774	c	Buvard	»	»	»	80	1	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	82	
	774	d	Sable	»	»	»	81	3	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	85	
	774	e	Sable	»	»	»	85	2	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	88	
	774	f	Sable	»	»	»	85	5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	90	
Graines du commerce	734	a	Buvard	»	»	»	»	»	29	»	»	39	»	»	»	»	»	7	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	2	79	0
	734	b	Buvard	»	»	»	»	»	38	»	»	36	»	»	»	»	»	6	»	»	»	1	»	2	»	»	»	»	1	84	0
	734	c	Buvard	»	»	»	»	»	29	»	»	42	»	»	»	»	»	5	»	»	»	8	»	1	»	»	»	»	8	88	0
	735	a	Buvard	»	»	»	»	»	76	»	»	»	»	»	»	11	»	»	1	»	2	»	»	»	2	»	»	»	»	92	0
	735	b	Buvard	»	»	»	»	»	71	»	»	»	»	»	»	10	»	»	7	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	90	0
	735	c	Buvard	»	»	»	»	»	78	»	»	»	»	»	»	15	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	95	0

ture de 20 à 25° centigrades, une bonne graine de pin sylvestre germe d'une façon régulière et assez rapide.

Nous avons relevé à titre d'exemple dans le tableau précédent la marche de la germination de quelques essais.

Il résulte de ces chiffres que les graines de pin sylvestre commencent à germer le plus souvent pendant le troisième ou le quatrième jour qui suit la mise en expérience, et que la durée totale de l'épreuve ne dépasse pas vingt-huit jours. Les prescriptions techniques de l'union des stations de recherches agricoles allemandes prescrivent d'étendre à quarante-deux jours la durée de l'épreuve de germination du pin sylvestre ; cette mesure ne nous paraît pas nécessaire, et la *durée totale de l'épreuve peut être fixée à trente jours*.

Comme, toutes conditions égales d'ailleurs, la graine germe d'autant plus vite qu'elle est meilleure, ce qu'on appelle son « énergie germinative » se trouve mesuré par le nombre de graines germées après un délai déterminé à partir du commencement de l'épreuve.

D'après la formule de M. Schribaux, qui considère l'énergie germinative comme satisfaisante quand la moitié au moins des bonnes graines ont germé pendant le tiers de la durée qu'on regarde comme nécessaire à la germination, *nous adopterons comme mesure de l'énergie germinative du pin sylvestre le pour cent de graines germées pendant les dix premiers jours de l'essai* (1).

Renseignements généraux. — Les données relatives *au poids volumétrique* des semences (2) et au nombre des semences par hectolitre paraissent être d'un intérêt secondaire, en raison des résultats très divergents qui sont cités par les divers auteurs. Pour la détermination du poids volumétrique des semences (poids moyen d'un litre), il est presque impossible d'obtenir avec différents opéra-

1. Les prescriptions techniques de l'Union des Stations de recherches agricoles allemandes fixent ce délai à quatorze jours pour les pins ; d'après ses expériences personnelles, le professeur Schwappach est d'avis que dix jours sont parfaitement suffisants.

2. Dans les stations allemandes ainsi qu'à Zurich, on se sert, pour déterminer le poids volumétrique des semences, de l'appareil de la Commission allemande des poids et mesures.



teurs un égal tassement de la graine, de même qu'il est difficile de remplir de la même manière le récipient ; la diversité des résultats obtenus tient aussi au degré de dessiccation de la semence, degré qui varie suivant l'hygroscopicité des semences et l'état hygrométrique de l'air. Nous avons relevé quelques-uns des résultats obtenus :

a) D'après M. Pierret (1889) à la station d'expériences des Barres :

	POIDS MOYEN du litre — kilogr.	NOMBRE de graines au litre —
Pin sylvestre de toutes provenances (graines désailées).	0,496	75 098
— acheté au commerce — .	0,511	84 311
— de la région des Alpes françaises (graines désailées)	0,476	66 300
— de la région de Fontainebleau (graines désailées)	0,487	66 327
— d'Auvergne (Murat, Mende, Clermont-Ferrand)	0,461	71 861

b) D'après le docteur Karl von Tubeuf (1891).

	CHIFFRES de Hess —	CHIFFRES de Gayer —
1 hectolitre de graine désailée de pin sylvestre pèse en kilogr.	42 à 50	45 à 55
— ailée — .	13 à 16	—

La détermination du poids absolu (poids des graines au mille) paraît beaucoup plus intéressante parce qu'elle présente beaucoup plus d'exactitude. Nous citerons les chiffres suivants :

a) D'après M. Pierret (1899) à la station des Barres :

	POIDS MOYEN de 1 000 graines — grammes	NOMBRE de graines au kilogr. —
Pin sylvestre de toutes provenances (graines désailées).	6,602	151 471
— acheté au commerce — .	6,062	164 950
— de la région des Alpes françaises (graines désailées)	7,179	139 289
— de la région de Fontainebleau (graines désailées)	7,339	136 266
— d'Auvergne (Murat, Mende, Clermont- — Ferrand).	6,420	155 757

b) Du professeur Nobbe (1876) à la station de Tharandt :

	POIDS MOYEN de 1 000 graines	NOMBRE de graines au kilogr.
	grammes	
Pin sylvestre	6,189	111 571
Maximum	7,660	187 688
Minimum	5,328	130 548

c) D'après le docteur Gayer : 6^{gr},800.

d) D'après Johannes Rafn (1900) :

	POIDS de 1 000 graines fraîches		
	moyen	maximum	minimum
	grammes	grammes	grammes
Pin sylvestre d'Écosse	6,83	»	»
— de l'Europe centrale (Hesse, Bavière, Autriche)	5,82	6,63	»
— (graines scandinaves, finlandaises) .	4,47	5,38	3,96

Ces différences, qui s'accusent sur des chiffres moyens résultant d'un grand nombre d'expériences, ne peuvent tenir uniquement à des circonstances accidentelles de maturité, d'hygroscopicité, de conservation, etc. ; il y a là une question de provenance, qui influe sur la grosseur et sur le poids des graines, et cette question de provenance paraît être un sujet d'études des plus intéressants pour les stations d'essai de semences, car il y a à connaître d'après des expériences nombreuses et précises :

L'influence de latitude et d'altitude, de sol et de climat dans les différentes régions ;

L'influence d'altitude et de sol dans une même région ;

L'influence dans une même région et dans un même sol, de l'âge et de l'état de végétation des sujets sur lesquels sont récoltés les cônes, etc.

En présence des nombreuses variétés ou races de pin sylvestre, et du degré d'adaptation de ces races dans des conditions déterminées de sol et de climat, il y a lieu de se demander si cette question de provenance de la semence n'est pas une des plus capitales pour le commerce des graines de pin sylvestre, et si les stations

d'essai de semences ne pourraient, à cet égard, rendre les plus grands services.

D'une façon beaucoup plus générale, les semences de végétaux, dont l'aire d'habitation est très étendue, paraissent susceptibles de transmettre aux sujets auxquels elles donnent naissance certaines qualités ou certaines propriétés spéciales de leurs parents. Depuis longtemps l'agriculteur n'a pas craint d'entrer résolument dans la voie de la *sélection des semences*, et les résultats acquis ont prouvé qu'il a eu raison.

En matière forestière, la question, beaucoup moins étudiée et plus difficile à étudier, est moins connue. Il n'existe à notre connaissance, en France, que deux essais ayant été exécutés dans cet esprit d'étude : l'un entrepris en 1821, par M. de Vilmorin, dans son domaine des Barres, avec plusieurs variétés de pins, dont les graines étaient d'origine certaine (1) ; l'autre, entrepris dans le courant du dernier siècle, à la pépinière de l'École forestière de Nancy.

A l'étranger on paraît, depuis un certain nombre d'années, s'attacher de beaucoup plus près à la question. Nous n'avons pas à nous y étendre ici, mais nous citerons, pour montrer l'importance du sujet, les travaux exécutés à la Station autrichienne de recherches de Mariabrünn, par le professeur Cieslar (2), et ceux qui viennent d'être publiés par le professeur Enger, en une brochure qui forme le deuxième fascicule du huitième volume des *Communications* de la Station forestière de Zurich (3).

Dans un autre ordre d'idées, mais à un point de vue très voisin, les belles collections d'arbres exotiques introduits en France au cours du siècle dernier ont créé des centres d'étude des plus inté-

1. *Catalogue des végétaux ligneux indigènes et exotiques existant sur le domaine forestier des Barres-Vilmorin.* Imprimerie nationale, Paris, 1878.

2. Die Erblichkeit des Zuwachsvermögens bei den Waldbäumen, von Dr A. Cieslar, Wien, 1895 (*Revue des Eaux et Forêts,* 10 avril 1895).

Neues aus dem Gebiete der forstlichen Zuchtwahl. — Ein Wissenschaftlicher Beitrag zum Waldbau und zum Forstculturwesen insbesondere, von Dr A. Cieslar, Wien, 1899.

3. Mitteilungen der Schweizerischen Central-Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Band VIII, Heft 2, Zürich, 1905 (*Revue des Eaux et Forêts,* 15 décembre 1905).

ressants; nous pouvons citer parmi eux le domaine national des Barres qui, aujourd'hui, appartient à l'État, le domaine d'Harcourt à la Société nationale d'agriculture, les belles collections de Segrez créées par M. Alphonse Lavallée, celles de M. Allard, à Angers, et celles du Muséum d'histoire naturelle à Paris. Les semences qu'on peut récolter en abondance dans ces collections offrent un vaste champ d'études de physiologie végétale encore inexploré, et les stations d'essai de semences ont dans ce travail, dans les essais comparatifs à entreprendre avec les semences d'origine, ainsi que dans les recherches expérimentales de végétation qui peuvent suivre la germination, un rôle très important à jouer.

Pin à crochets

(*Pinus montana* Mill.)

La graine de pin à crochets se récolte dans les Alpes, où les principaux centres de production sont, en France : dans les Alpes, le Queyras, le Briançonnais et la vallée de Barcelonnette, et, dans les Pyrénées, les environs de Montlouis (sècherie de la Llagonne). — Cette graine revient à un prix élevé en raison des difficultés de la récolte.

Nous mettrons en parallèle, au sujet de cette semence, quelques-uns des résultats déjà acquis :

Pureté. — Les impuretés sont faciles à éliminer par des triages mécaniques de la graine du pin à crochets; nous relevons comme coefficients de pureté moyens les chiffres suivants:

		Coefficient de pureté		
		Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres : (1902-1904)	Semences envoyées par les sècheries. . . .	94,5	97	92
Chiffres de M. Rafn, à Copenhague : (1900-1903).	Semence française de Briançon	96,1	»	»
	Semence danoise . . .	99	99,7	98,5

On peut admettre que le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin à crochets doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.

Faculté germinative. — Les résultats relevés aux Barres et à Copenhague donnent les chiffres moyens suivants :

		Coefficient de faculté germinative		
		Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres : (1902-1904).	Semences récoltées par l'administration. . .	69,6	80	57,3
Chiffres de M. Rafn, à Copenhague : (1900-1903)	Semence française de Briançon	58,7	»	»
	Semence danoise. . . .	89	98	69,5

M. Pierret, d'après les nombreux essais effectués aux Barres de 1872 à 1889, considère que la puissance germinative du pin à crochets est en moyenne de 72 °/ₒ la première année.

On peut donc admettre que le coefficient de faculté germinative d'une bonne semence de pins à crochets doit, dans les conditions normales, être supérieur à 70 °/ₒ.

La faculté germinative des semences de pins à crochets conservées en magasin décroît assez rapidement avec les années ; cette décroissance est moins rapide que pour le pin sylvestre. D'après M. Pierret, de 72 °/ₒ la première année, elle passe à 57 °/ₒ la deuxième année, puis successivement d'année en année à 50 °/ₒ, à 42 °/ₒ, etc., et le rendement ne serait inférieur à 5 °/ₒ que la dixième année.

Nous avons tracé pour le pin à crochets le graphique qui nous a permis d'établir d'une façon approchée, à l'aide des expériences de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne du pin à crochets (voir tableau général).

Valeur culturale. — Les résultats relevés aux Barres et à Copenhague sont les suivants :

	Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres	65,97	75	55,5
Copenhague.	86,5	96,8	54,49

On peut admettre que le coefficient de valeur culturale d'une bonne semence de pins à crochets doit, dans les conditions normales, être supérieur à 66 °/ₒ.

Marche de la germination. Énergie germinative. — Placée dans les germoirs de la station d'essais de semences à une température de 20 à 25° centigrades, une bonne graine de pin à crochets germe d'une façon régulière, mais bien moins rapidement que la semence du pin sylvestre. Les nombreuses expériences exécutées par M. Pierret lui ont permis de dire qu'un essai sur le pin à crochets se prolonge souvent plus de quarante-cinq jours ; que, par suite, il est difficile d'être fixé rapidement sur la valeur d'un échantillon de pin à crochets.

Numéro du registre		Comptages successifs (Durée de l'expérience en jours) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o
738 a	Sable..	»	»	»	»	»	38	»	»	20	»	»	5	»	»	»	»	»	1
738 b	Sable..	»	»	»	»	»	40	»	»	19	»	»	6	»	»	»	»	»	4
738 c	Sable..	»	»	»	»	»	48	»	»	19	»	»	4	»	»	»	»	»	2
743 a	Sable..	»	»	»	»	»	21	»	»	50	»	»	»	»	»	1	»	»	»
743 b	Sable..	»	»	»	»	»	27	»	»	40	»	»	»	»	»	5	»	»	»
743 c	Sable..	»	»	»	»	»	42	»	»	19	»	»	»	»	»	5	»	»	»
678	Sable..	»	»	»	»	»	30	»	9	»	»	3	»	»	»	1	»	»	»
674 a	Buvard.	»	»	»	»	»	»	51	»	9	»	»	2	»	»	»	»	»	»
674 b	Buvard.	»	»	»	»	»	»	47	»	7	»	»	5	»	»	»	2	»	2

Numéro du registre		Comptages successifs (Durée de l'expérience en jours) 19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30 à 40	Graines germées à 40 jours	Grains frais
		o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o
738 a	Sable..	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	4	68	»
738 b	Sable..	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	1	71	»
738 c	Sable..	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	3	72	»
743 a	Sable..	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	72	»
743 b	Sable..	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	1	1	75	»
743 c	Sable..	»	1	»	»	»	»	1	»	»	»	1	1	70	»
678	Sable..	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	43	36
674 a	Buvard.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	4	»	5	74	18
674 b	Buvard.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	3	68	23

Nous pensons qu'il suffit *de prolonger l'expérience jusqu'à qua-*

rante-deux jours, à la condition qu'on ne considérera le résultat que comme exprimant le nombre de graines germées à quarante-deux jours. Il est dès lors absolument indispensable de procéder à l'essai au couteau des graines qui restent sur le germoir à la fin de l'essai, et de mentionner à côté du résultat de germination le nombre des graines dont la section a été reconnue fraîche et saine d'aspect; une partie de ces graines, dont le nombre est impossible à déterminer dans la circonstance, est encore susceptible de germer plus tard. La valeur culturale, dans ce cas, est calculée en prenant pour base le pour-cent de germination effectif à quarante-deux jours, sans tenir compte des grains frais, et nous pensons qu'il est bon de le mentionner.

Nous adoptons, d'après ce qui précède, *comme mesure de l'énergie germinative du pin à crochets, le pour-cent des graines germées pendant les quatorze premiers jours de l'essai.*

Nous avons relevé, à titre d'exemple, dans le tableau précédent, la marche de la germination de quelques essais effectués en 1903-1904 à la station des Barres.

Renseignements généraux. — Les résultats suivants ont été obtenus par M. Pierret à la station des Barres pour les graines désailées de pin à crochets :

	PIN A CROCHETS		
	de toutes provenances	des sècheries forestières françaises	fourni par le commerce
Poids du litre de graines	$0^{kg},482$	$0^{kg},476$	$0^{kg},526$
Poids de 1 000 graines	$7^{gr},845$	$8^{gr},025$	$6^{gr},654$
Nombre de graines dans un litre . .	61,542	59,274	79,152
Nombre de graines au kilogramme .	127,471	124,611	150,285

Pin Laricio noir d'Autriche

(*Pinus Laricio austriaca* Endl.)

Nous devons citer dans les pins Laricio trois races distinctes par leur origine, par leur différence d'aspect et leurs aptitudes dont les graines sont adressées aux Barres.

Le pin Laricio noir d'Autriche, dont les graines sont achetées à l'étranger.

Le pin Laricio de Corse, dont les graines sont fournies par le commerce local.

Le pin Laricio des Cévennes, dont les graines sont récoltées par les soins des agents forestiers dans la forêt de Saint-Guilhem-le-Désert.

D'après M. Pierret, ces trois essences fournissent des graines très voisines les unes des autres par leurs caractères essentiels ; en particulier les tracés graphiques relatifs à la décroissance de la vitalité de ces graines forment trois courbes extrêmement rapprochées. Toutefois, le pin noir se sépare un peu nettement des deux autres par le poids sensiblement plus élevé de la graine.

Le plus employé des trois est le pin Laricio noir d'Autriche ; c'est celui dont la graine a été le plus étudiée.

Pureté. — Les impuretés de la graine du pin Laricio noir d'Autriche sont faciles à éliminer par des triages mécaniques, et les moyennes relevées aux Barres sur les échantillons d'expérience sont données dans le tableau suivant :

	Coefficient de pureté		
	Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres (1902-1901)	97,5	98	97,4
Zurich (1902-1903)	96,7	98,7	90,3
Copenhagne (1900-1903)	95,25	98,24	91,50

On peut admettre que le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin Laricio noir d'Autriche doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.

Faculté germinative. — Les résultats relevés donnent les chiffres moyens suivants :

	Coefficient de faculté germinative		
	Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres, d'après M. Pierret (1872-1889)	76 à 81	»	»
(1903-1904)	81,47	83,33	81,4
Zurich (1902-1903)	63	96	16
Copenhague (1900-1903)	74,94	85	62
Chiffres donnés par le Dr Karl von Tubeuf, d'après Hess et Gayer	65 à 75	»	»

On peut donc admettre que le coefficient de faculté germinative d'une bonne semence de pin Laricio noir d'Autriche doit, dans les conditions normales, être supérieur à 75 et même 80 °/₀.

La vitalité des semences de pin Laricio noir d'Autriche décroît rapidement avec les années, et la décroissance est plus rapide que celle du pin sylvestre.

D'après M. Pierret, la faculté germinative d'un échantillon, étant la première année après la récolte de 76 à 81 °/₀, tombe entre 50 et 58 °/₀ l'année suivante et passe au-dessous de 5 °/₀ dès la sixième année après la récolte.

Nous avons tracé, pour le pin Laricio noir d'Autriche, le graphique qui nous a permis d'établir d'une façon approchée, à l'aide des expériences de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative (voir tableau général).

Valeur culturale. — D'après les expériences précédentes, la valeur culturale des divers échantillons de pin Laricio noir d'Autriche a été de :

	VALEUR CULTURALE		
	Moyenne	Maximum	Minimum
Station des Barres.	79,73	80,99	78,6
Copenhague	71,93	86,50	56,73

On peut admettre que le coefficient de valeur culturale d'une bonne semence de pin Laricio noir d'Autriche doit, dans les conditions normales, être supérieur à 70 et même 75 °/₀.

Marche de la germination. Énergie germinative. — Placée dans les germoirs de la station d'essai de semences, à une température de 20 à 25° centigrades, une bonne semence de pin Laricio noir d'Autriche germe rapidement et pour ainsi dire en masse. Les nombreux essais exécutés aux Barres par M. Pierret lui ont permis de dire que le pin noir commence à germer vers le quatrième ou le cinquième jour, et que le premier comptage exécuté cinq jours après le commencement de la germination a toujours fourni plus des huit-dixièmes du taux définitif, de sorte que l'on est rapidement fixé sur

le rendement probable d'une épreuve. D'après M. Pierret, la durée totale d'une expérience est d'environ vingt-neuf jours.

En fixant à *trente jours la durée de l'essai de germination*, nous sommes conduits à adopter, comme *mesure de l'énergie germinative de la semence du pin Laricio noir d'Autriche, le pour-cent des graines qui ont germé pendant les dix premiers jours de l'essai.*

NUMÉRO du registre			COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o
716	a	Buvard	»	»	»	»	»	51	»	»	17	»	4	»	6	»	»
716	b	Buvard	»	»	»	»	»	35	»	»	27	»	3	»	4	»	»
716	c	Buvard	»	»	»	»	»	48	»	»	21	»	9	»	»	»	»
715	a	Buvard	»	»	»	»	»	54	»	21	»	»	2	»	1	»	»
715	b	Buvard	»	»	»	»	»	56	»	18	»	»	4	»	»	»	»
688	a	Buvard	»	»	»	45	»	»	26	»	6	»	»	»	2	»	»
688	b	Buvard	»	»	»	59	»	»	17	»	1	»	»	»	4	»	»
688	c	Buvard	»	»	»	50	»	»	24	»	5	»	»	»	1	»	»

NUMÉRO du registre			COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours) 16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	FACULTÉ germinative
			°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o
716	a	Buvard	2	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	81
716	b	Buvard	5	»	»	»	»	8	»	1	»	»	»	»	»	78
716	c	Buvard	2	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	82
715	a	Buvard	4	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	84
715	b	Buvard	2	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	82
688	a	Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	79
688	b	Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	81
688	c	Buvard	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	81

Nous avons relevé à titre d'indication dans le tableau ci-dessus la marche de la germination de quelques essais effectués en 1903-1904 à la station des Barres.

Renseignements généraux. — Les résultats suivants ont été obte-

nus par M. Pierret sur les échantillons des Barres pour des graines désailées de pin Laricio :

	PIN LARICIO		
	noir d'Autriche	de Corse	des Cévennes
Poids du litre de graines. . . .	0kg,528	0kg,500	0kg,475
Nombre de graines au litre. . .	28 045	33 684	31 649
Poids de 1 000 graines	18gr,857	14gr,856	14gr,996
Nombre de graines au kilogr. .	53 086	67 313	66 686

Pin maritime

(*Pinus pinaster* Soland)

Le pin maritime est acheté dans trois régions en France, qui peuvent se classer ainsi suivant l'importance des offres et de la production :

1° Le littoral de l'océan Atlantique (pin des Landes) ;

2° Le département de la Sarthe (pin du centre) ;

3° La Corse.

M. Thil signalait, dès 1884, que les marchands du littoral de l'Atlantique admettent difficilement le cahier des charges adopté par les étrangers, qu'ils comprennent mal ; que ces marchands se méfient des méthodes employées pour les essais et qu'une amélioration du commerce des semences dans cette région était très à désirer.

En ce qui concerne la région du Mans, l'administration forestière française a rapidement reconnu l'infériorité de cette graine ; bien avant l'hiver de 1879-1880, qui a détruit presque complètement le pin maritime dans ce pays, elle avait pris des mesures pour s'approvisionner autant que possible sur le littoral de l'Océan, dans les départements de la Gironde et des Landes. La distinction de la graine qui provient du centre de la France est-elle possible à établir ? Cela serait à désirer, car nous nous sommes laissé dire qu'aujourd'hui certains revendeurs peu scrupuleux vendent, sous le nom de « Pin des Landes », une semence qu'ils se procurent à meilleur compte dans le centre de la France.

En Corse, d'après M. Thil, le principe de la vente avec garantie peut être considéré comme admis ; les acquisitions faites dans cette

région ont pour but d'introduire dans les massifs du midi de la France la belle variété de pin maritime qui croît dans les forêts de Corse, et en particulier dans celle de Corte. Toutefois, nous nous demandons où est exécuté le contrôle de ces garanties !

D'après M. Pierret, il paraît y avoir entre le pin des Landes et le pin de Corse des différences assez sensibles au point de vue de la germination ; mais le nombre des expériences exécutées aux Barres sur le pin maritime de Corse a été trop faible pour qu'il soit possible de donner des indications précises à ce sujet.

Les chiffres obtenus par M. Pierret, d'après ses expériences sur les graines désailées reçues aux Barres, sont les suivants :

	PIN MARITIME DE BORDEAUX			PIN maritime de Corte
	de toutes provenances	fourni par le commerce	provenant des sécheries et magasins forestiers	
Poids du litre de graines. . .	0^{kg},587	0^{kg},593	0^{kg},585	0^{kg},570
Nombre de graines au litre. .	11 131	11 363	11 090	9 771
Poids moyen de 1 000 graines.	52^{gr},607	52^{gr},149	52^{gr},781	58^{gr},335
Nombre de graines au kilogr.	18 977	19 176	18 946	17 142

Germination. — Il n'a été exécuté depuis 1900 aucun essai sur le pin maritime à la station des Barres, qui n'a fait à cet égard que poursuivre quelques-unes des expériences commencées par M. Pierret sur la persistance de la faculté germinative des graines de cette essence.

Nous relevons dans les chiffres obtenus à Copenhague par M. Rafn les résultats suivants :

PINUS PINASTER	PURETÉ	GERMINATION A				GRAINS frais	VALEUR cul-turale	POIDS de 1 000 graines
		5 jours	10 jours	15 jours	30 jours			
	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	
Semence italienne. .	99,70	»	»	»	75	9,5	74,78	62,70
— française .	99,80	»	1	24,70	51,50	39,9	51,40	50

D'après M. Pierret, pour les graines placées dans les germoirs de

la station d'essai à une température de 20-25° centigrades, la germination commence vers le cinquième ou sixième jour pour les graines du pin des Landes, mais la durée de l'expérience est assez variable ; elle n'est pas, en général, inférieure à trente-cinq jours ; elle peut atteindre et dépasser soixante-quinze à quatre-vingts jours.

On ne peut donc préjuger de la valeur d'un échantillon de pin maritime par la levée qui se produit dans les premiers jours, comme on le fait presque à coup sûr pour le pin sylvestre et surtout pour le pin Laricio.

D'autre part, M. Pierret constate que pour les essais de germination de cette essence, la température peut être élevée sans aucun inconvénient, pourvu que le degré d'humidité soit suffisant ; avec le germinateur à gaz de M. Dubreuil, il a pu soumettre des graines de pin maritime à une température de 38 à 42° centigrades sans que le taux de germination ait été altéré, la germination ayant été seulement accélérée ; il est bien entendu qu'il ne faut pas dépasser certaines limites de température (1) au delà desquelles une sensible élévation de température serait d'autant plus nuisible aux graines qu'elles seraient dans une atmosphère plus humide.

Il résulte de ces expériences que, pour le pin maritime, les températures utiles en ce qui concerne la germination embrassent un champ sensiblement plus étendu que pour les autres essences étudiées.

D'après ce qui précède, nous pensons qu'on peut admettre pour le pin maritime les données suivantes :

Pureté. — Les semences de pin maritime sont facilement séparées par des procédés mécaniques des impuretés qu'elles renferment. *Le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin maritime doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.*

Durée normale de l'essai de germination. Valeur culturale. Énergie germinative. — Nous pensons qu'il suffit de *prolonger l'expérience jusqu'à quarante-deux jours,* à la condition que l'essai

1. La température la plus favorable à la germination serait d'autant plus élevée que la graine est d'origine plus méridionale.



de germination sera exécuté à des températures suffisamment élevées, atteignant au moins, pendant une partie de la durée de l'expérience, 30 à 35° centigrades.

Il est, dès lors, absolument indispensable de procéder à l'essai au couteau des graines qui restent sur le germoir à la fin de l'essai, et de mentionner, à côté du résultat de germination, le nombre des graines dont la section a été reconnue fraîche et saine d'aspect; une partie de ces graines, dont le nombre est impossible à déterminer dans la circonstance, est encore susceptible de germer plus tard.

La valeur culturale dans ce cas est calculée en prenant pour base le pour-cent de germination effectif à quarante-deux jours, sans tenir compte des grains frais, et nous pensons qu'il y a lieu de le mentionner.

Nous adoptons, d'après ce qui précède, *comme indication sur l'énergie germinative de la semence du pin maritime, le pour-cent des graines germées pendant les quatorze premiers jours de l'essai* (on pourrait ici adopter trente jours au lieu de quatorze).

Persistance de la faculté germinative avec les années. — Les essais exécutés par M. Pierret sur les graines du pin maritime conservées au magasin des Barres, ont donné en moyenne les résultats suivants :

	1er essai à l'arrivée	2e année	3e année	4e année	5e année	6e année	7e année	8e année	9e année	10e année
	°/°	°/°	°/°	°/°	°/°	°/°	°/°	°/°	°/°	°/°
Graines de toutes provenances . .	74	68	70	74	75	66	69	62	62	54
Graines du commerce.	80	78	82	81	76	68	72	64	71	64
— de l'administration forestière.	74	67	68	72	75	66	68	62	61	44
Pin maritime de Corse.	70	54	45	56	55	56	53	46	29	29

M. Pierret déduit de ces expériences que la vitalité des graines de pin maritime est puissante ; c'est ainsi que le plus ancien échantillon

de cette essence arrivé aux Barres le 28 décembre 1875, étiqueté sous le n° 4 au registre d'expériences et donnant à cette époque 76 °/₀ de bonnes graines, a encore fourni, le 24 avril 1886, une germination de 52 °/₀, et qu'un échantillon inscrit au registre de la station sous le n° 171, qui en octobre 1881 accusait 87,9 °/₀ de germination, a encore fourni en janvier 1902 une germination de 34,1 °/₀.

Les moyennes déduites des épreuves faites sur cette essence, et traduites par M. Pierret en tracés graphiques, présentent des irrégularités qui doivent évidemment disparaître plus tard, au fur et à mesure que de nouvelles expériences viendront ajouter leurs résultats aux anciennes; mais, toutefois, elles ont permis de constater une tendance générale au relèvement du taux de germination des semences de pin maritime vers la troisième année, relèvement qui persiste pendant quelques années.

La semence du pin maritime est donc une marchandise qui peut être conservée, en magasin, pendant deux ou trois années sans inconvénient.

Nous avons tracé pour le pin maritime des Landes le graphique qui nous a permis d'établir, d'une façon approchée, à l'aide des essais de M. Pierret, et en supprimant les écarts intermédiaires, une ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative avec les années (voir tableau général).

Pin d'Alep

(*Pinus halepensis* Mill)

Tous les échantillons de graines de pin d'Alep reçus aux Barres proviennent de cônes récoltés et préparés par les soins des agents forestiers à Aubagne (Bouches-du-Rhône) et dans la forêt de Luberon (Vaucluse).

D'après M. Pierret, les graines de pin d'Alep commencent à germer le septième jour qui suit leur mise en expérience; la marche de la germination est assez rapide, à condition toutefois que la graine essayée soit de bonne qualité, et dans ce cas le premier

comptage effectué cinq jours après le commencement de la germination fournit très souvent les neuf dixièmes de la levée totale ; la durée complète de l'expérience serait de trente-sept jours environ.

Les expériences exécutées aux Barres depuis 1900 sont trop peu nombreuses pour être bien concluantes ; nous relevons toutefois à titre d'indication, en ce qui concerne la marche de la germination, les résultats de quelques essais :

Numéro du registre	Nombre de graines mises en germination	Comptages successifs (Durée de l'expérience en jours)																	
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
638 a	1 500	»	»	308	»	622	»	»	298	»	94	»	»	»	»	»	»	11	»
638 b	1 500	»	»	289	»	410	»	»	415	»	200	»	»	»	»	»	»	15	»
644 a	1 500	»	5	»	10	»	»	9	»	»	»	74	»	»	»	»	682	»	»
644 b	1 500	»	4	»	4	»	»	6	»	»	»	153	»	»	»	»	737	»	»
673	300	»	»	»	»	»	»	»	96	»	50	»	»	36	»	»	»	16	»

Numéro du registre	Nombre de graines mises en germination	Comptages successifs (Durée de l'expérience en jours)													Total des graines germées	Faculté germinative	
		25	26	27	28	29	30 à 40	40 à 50	50 à 60	60 à 70	70 à 80	80 à 90	90 à 100	100 à 110		°/o	Grain frais
638 a	1 500	»	»	»	1	»	4	2	1	4	0	»	»	»	1 345	89,67	
638 b	1 500	»	»	»	2	»	3	2	5	4	0	»	»	»	1 366	91,07	
644 a	1 500	»	»	195	»	»	60	21	30	27	27	6	1	2	1 149	76,66	
644 b	1 500	»	»	172	»	»	33	5	6	13	13	4	0	0	1 150	76,67	
673	300	»	»	»	13	»	11	2	16	12	12	0	»	»	252	84	2

Il résulte de ces expériences que la germination serait à peu près terminée au bout de quarante à soixante jours, mais qu'il continue à germer jusqu'à quatre-vingt-dix jours environ une proportion de semences qui est loin d'être négligeable.

D'après ce qui précède, nous pensons qu'on peut admettre pour le pin d'Alep les données suivantes :

Pureté. — Les semences de pin d'Alep sont facilement séparées par des procédés mécaniques des impuretés qu'elles renferment. *Le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin d'Alep doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.*

Durée normale de l'essai de germination. Valeur culturale. Énergie germinative. — Nous pensons qu'il suffit de *prolonger l'expérience jusqu'à quarante-deux jours,* à la condition qu'on aura soin de procéder à l'essai au couteau des graines qui restent sur le germoir à la fin de l'essai, et de mentionner à côté du résultat de germination le nombre des graines dont la section a été reconnue fraîche et saine d'aspect ; une partie de ces graines, dont le nombre est impossible à déterminer dans la circonstance, est encore susceptible de germer plus tard.

La valeur culturale, dans ce cas, est calculée en prenant pour base le pour-cent de germination effectif à quarante-deux jours, sans tenir compte des grains frais, et nous pensons qu'il y a lieu de le mentionner.

Nous adoptons, d'après ce qui précède, comme indication sur l'énergie germinative de la semence du pin d'Alep, le pour-cent des graines germées pendant les quatorze premiers jours de l'essai (on pourrait ici adopter trente jours au lieu de quatorze).

Persistance de la faculté germinative avec les années. — La faculté germinative des semences de pin d'Alep conservées en magasin décroît avec les années, mais d'une façon beaucoup plus lente que celle du pin sylvestre ; si, d'après M. Pierret, la faculté germinative de la semence est, la première année, comprise entre 74 à 91 °/₀, elle est encore comprise entre 68 et 87 °/₀ la deuxième année, entre 65 et 82 °/₀ la troisième année, etc.

Nous avons tracé pour le pin d'Alep le graphique qui nous a permis d'établir d'une façon approchée, à l'aide des essais de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative de la semence du pin d'Alep avec les années (voir tableau général).

Pin cembro

(*Pinus cembra* Lin.)

La graine de pin cembro est récoltée en France dans les Basses-Alpes principalement et aussi dans les Hautes-Alpes et l'Isère. La récolte de cette graine est toujours incertaine, en raison des hautes régions qu'habite cette essence, où les premières neiges rendent fréquemment la forêt inaccessible.

Les quantités de semence nécessaires aux travaux sont souvent achetées soit aux paysans, soit aux épiciers et aux grainetiers, qui la vendent comme comestible; pour des quantités aussi petites, dit M. Thil, il est difficile d'exiger une garantie germinative contrôlée par des essais de germination; ce contrôle de la germination est d'ailleurs moins nécessaire ici que pour les autres semences, par suite de la facilité avec laquelle on peut reconnaître la fraîcheur de l'amande en brisant le péricarpe, et de la possibilité qu'il y a de trier les graines saines des autres en plongeant les semences dans l'eau.

D'autre part, les graines d'un an sont rances et invendables en général, de sorte que les détenteurs de la marchandise ne la conservent pas aussi longtemps.

Marche de la germination. — D'après M. Pierret, la marche de la germination de la semence du pin cembro est très lente; les graines, placées dans les germoirs de la station d'essai et maintenues à une température de 20° à 25° centigrades, germent une à une, tantôt au bout d'une dizaine de jours, tantôt au bout de trois semaines seulement; il n'est pas une seule épreuve où les graines n'aient dû être maintenues au moins trois mois en expérience; bien plus, des échantillons conservés plus de deux ans en expérience à force de surveillance et de soins de propreté donnaient encore quelques graines qui germaient (1).

---

1. Il y aurait lieu d'examiner si, en modifiant les conditions d'expérimentation, on pourrait arriver à des résultats plus rapides, et si, notamment, en usant ou perforant



Nous relevons dans le tableau suivant quelques exemples :

NUMÉRO du registre de la station	NOMBRE de graines mises en essai	COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en mois)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
553	500	4	3	6	»	»	3	1	»	1	7	10	22	10	10	4	28
554	500	12	1	4	6	»	9	12	3	2	3	27	23	26	11	12	8
557	500	26	7	21	24	20	27	21	8	5	6	12	26	17	7	5	4
567	500	3	»	»	»	2	1	4	12	9	1	25	19	5	13	104	125
574	500	17	2	»	»	2	1	7	8	3	4	36	21	9	14	101	108

NUMÉRO du registre de la station	NOMBRE de graines mises en essai	COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en mois)									SOMME des graines germées	GRAINES germées	GERMINATION probable déterminé par l'essai au couteau
		17	18	19	20	21	22	23	24	25		°/o	
553	500	50	15	6	23	15	9	12	64	32	335	67	52
554	500	21	27	7	2	15	14	6	5	7	283	56,6	35
557	500	11	11	3	»	1	»	»	»	»	272	54,4	41
567	500	91	»	»	»	»	»	»	»	»	414	82,8	60
574	500	102	»	»	»	»	»	»	»	»	444	88,8	57

Nous extrayons des résultats publiés par M. Rafn à Copenhague les chiffres suivants :

1° *Pinus cembra siberica.* — Dans une étuve à germination maintenue à la température de 25°-28° centigrades, la semence a germé dans les proportions suivantes :

En dix jours.	4 °/o
En vingt-cinq jours	28 °/o
En trente jours	46 °/o

Dans une véranda froide et non chauffée, la même semence a donné 82 °/o de graines ayant germé.

---

une partie du péricarpe sans endommager l'amande, on n'obtiendrait pas une germination plus rapide et plus régulière. Des essais de ce genre ont déjà réussi pour les graines agricoles à enveloppe dure ou imperméable à l'eau.

2° *Pinus cembra* L. (1900).

Germination à 24 jours		6.92 %
Grains frais non germés à la fin de l'essai		73,4 %
Pureté		99,20
Valeur culturale	Minimum	72,50 %
	Maximum	90,00 %

Des résultats qui précèdent, nous concluons : que la semence de pin cembro, en raison de sa grosseur, est facilement livrée presque totalement pure ; que, dans l'état des connaissances actuelles, l'essai de germination au laboratoire est beaucoup trop long pour pouvoir être utilisé dans un but de contrôle, et qu'en tout cas, un essai qu'on arrête au bout de deux à quatre mois doit être complété par l'examen au couteau des graines qui n'ont pas germé à la fin de l'essai. Il paraît difficile, dans les conditions que nous venons d'indiquer, de se prononcer sur l'énergie germinative de la semence.

Une macération préalable dans de l'eau pure, maintenue à la température ordinaire, peut accélérer la germination ; dans la pratique des semis, cette opération est d'ailleurs à conseiller pour toutes les semences à germination lente, surtout pour celles qui, comme le pin cembro, sont exposées à être rapidement la proie des rongeurs [1].

Cette préparation en vue de l'exécution d'un semis peut être pratiquée de la façon suivante : Les semences sont mises à tremper dans de l'eau propre pendant le temps qui est nécessaire à l'eau pour pénétrer jusqu'au centre de l'amande (en général douze à vingt-quatre heures pour un grand nombre de semences ; beaucoup plus longtemps pour le pin cembro ; en coupant quelques graines de temps à autre pendant le trempage, il est d'ailleurs facile de constater le degré de pénétration de l'eau dans l'amande). On aban-

1. Pour exécuter les semis dans les pépinières de montagne avec du pin cembro, on commence par éliminer en plongeant la semence dans l'eau toutes les graines vaines qui surnagent ; puis on fait macérer la semence pendant quinze jours avant de la semer ; afin de la protéger contre l'attaque des rongeurs on l'enduit de minium, on laisse sécher cette couche protectrice avant de mettre en terre. On sème très serré, car on sait qu'une partie des semences ne lèveront pas dans l'année. Il n'est pas rare de voir apparaître dans les bandes des graines qui germent au bout d'une ou de plusieurs années

donne ensuite les graines disposées en tas dans un local où la température est maintenue à 15°-20° centigrades, et pour que les semences ne s'échauffent pas et respirent convenablement, on prend soin de déplacer le tas matin et soir et de l'asperger légèrement quand la masse paraît se dessécher.

On exécute le semis deux ou trois jours avant la sortie de la radicule, c'est-à-dire au moment où les graines se gonflent.

Ce procédé est conseillé par M. Schribaux pour un grand nombre de semences agricoles, pour les graines de conifères et pour toutes les semences qui, en raison de leur volume ou de la dureté de leur enveloppe, mettent plusieurs jours pour absorber l'eau nécessaire à la germination.

Avec des données précises sur les moyens d'exécution pour chaque catégorie de semences (étude qui peut être faite par les stations d'essai de semences), et avec des renseignements sur le temps nécessaire pour arriver à une bonne préparation de la semence en vue du semis, il semble que ce procédé pourrait donner d'excellents résultats et qu'il permettrait de faire une économie notable sur le nombre des semences à employer.

Il ne faut pas confondre cette opération, destinée à accélérer la germination et à préparer la graine à être semée aussitôt qu'elle commence à germer, avec la stratification, conseillée elle aussi pour conserver des semences en bon état et pour les préparer à germer dans le printemps qui suit leur récolte.

La stratification des graines, dit M. Pierret, est une pratique excellente qui devrait être d'un usage beaucoup plus répandu ; elle peut servir non seulement à hâter la germination des semences à péricarpe dur ou épais (frêne, charme, pin maritime, etc.), mais encore à conserver fraîches jusqu'à l'époque favorable pour le semis les graines à péricarpe mince ou riches en essences volatiles (orme, bouleau, sapin pectiné, etc.). On stratifie ordinairement dans le sable, que l'on maintient sec si l'on veut retarder la germination, humide si on veut l'activer (1).

1. Pour le pin cembro, on peut conseiller un procédé de stratification analogue à celui que nous indiquons pour le pin Weymouth.



Ces deux procédés, *stratification d'une part* et, d'autre part, *préparation à la germination* en temps voulu avant le semis, devraient à notre avis être employés plus fréquemment pour conserver en bon état nos semences d'essences forestières et pour les faire germer, qu'il s'agisse des semences de nos résineux (notamment du sapin) ou des semences d'arbres feuillus (glands, etc.) ; ils s'imposent à tout prix lorsqu'il s'agit de semences exotiques d'un prix relativement élevé (*Abies amabilis*, etc.) qu'on vend dans le commerce jusqu'à 390 fr. et plus le kilogramme. Pour de telles semences on doit arriver à employer des procédés de conservation tels qu'un fournisseur ne soit pas exposé à ce qu'on lui démontre que la semence qu'il a vendue si cher ne valait pas quelques cailloux. (Une semence d'*Abies amabilis* venue directement d'Amérique et payée à raison de 390 fr. le kilogramme a donné à peine quelques graines fertiles : 2 à 5 °/₀. C'est trop peu pour une semence si chère.)

Nous pensons qu'on doit agir dans ce sens, auprès du producteur d'une part, et auprès des fournisseurs de graines, intermédiaires naturels entre le producteur et le consommateur, d'autre part, pour obtenir ce résultat. C'est, à notre avis, une des parties les plus utiles de l'œuvre des stations d'analyse et de contrôle des semences.

Essai de la graine au couteau. — La qualité approchée d'une semence de pin cembro peut facilement être déterminée en étudiant sur un échantillon moyen d'expérience l'état de l'amande renfermée dans chacune des graines.

A la station des Barres, il est prélevé sur l'échantillon moyen reçu quatre lots de cent graines, chaque lot devant représenter autant que possible comme grosseur de graines, aspect, couleur, etc., la moyenne exacte de l'échantillon envoyé. Dans chaque lot ces graines sont coupées au couteau, l'état de la section de l'amande est examiné avec soin et les graines sont classées en quatre catégories : graines bonnes, douteuses, rances, vides ou sans germe.

La moyenne du chiffre des graines reconnues bonnes donne le pour-cent probable de germination.

Nous avons obtenu, dans les essais les plus récents, les résultats suivants :

	GRAINES				GERMINATION probable
	bonnes	douteuses	rances	vides ou sans germe	
	—	—	—	—	—
	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o
Numéro 679. . . .	61	17	3	19	61
Numéro 661. . . .	49	15	15	21	49

Si, d'autre part, nous comparons la germination probable ainsi calculée avec les résultats des essais de germination effectués à la station sur les mêmes échantillons, nous obtenons les résultats suivants :

NUMÉRO du registre	GERMINATION probable d'après l'essai au couteau	GERMINATION obtenu après un essai ayant duré 18 à 25 mois
—	—	—
553	52	67
554	35	56
557	41	54
558	49	55
567	60	82
574	57	88
575	55	76,2

Il est intéressant de constater qu'en poursuivant assez longtemps l'essai de germination, on est toujours arrivé à un pour-cent de germination supérieur au chiffre de germination probable trouvé d'après l'essai au couteau. Peut-être y a-t-il lieu de se montrer moins sévère au sujet des graines douteuses, une partie de celles que nous qualifions ainsi pouvant être encore susceptibles de germer.

Cette constatation, qui n'a été faite d'ailleurs que sur un petit nombre d'expériences, en raison de la lenteur de germination du pin cembro, nous porte à croire que l'essai au couteau n'est susceptible de donner qu'un simple renseignement approché sur la qualité de la semence.

Renseignements généraux. — Les semences de pin cembro essayées aux Barres provenaient toutes de la région des Alpes

françaises. M. Pierret donne à leur sujet les renseignements suivants :

Poids du litre de graines	0kg,520
Nombre de graines au litre	1 775
Poids moyen de 1 000 graines	293gr,113
Nombre de graines au kilogramme.	3 412

Pin Weymouth

(*Pinus strobus* Lin.)

Les échantillons de graines de pin Weymouth reçus aux Barres ont été très rares ; les expériences faites ont donné les résultats suivants :

Poids du litre de graines	0kg,485
Nombre de graines au litre	24 427
Poids moyen de 1 000 graines	19gr,855
Nombre de graines au kilogramme.	50 365

Marche de la germination. — La graine de pin Weymouth, placée dans une étuve à la température de 20° à 25° centigrades, germe fort lentement ; d'après M. Pierret, ce n'est qu'au bout de quinze jours environ que la radicule commence à pointer, et en réalité les graines ne se trouvent en pleine germination qu'après trois semaines ; l'expérience complète peut exiger plus de trois mois.

Nous reproduisons à cet égard les chiffres obtenus sur cette essence à Eberswalde par le professeur Schwappach :

ANNÉE	NUMÉRO du registre	PURETÉ	NOMBRE POUR CENT DES GRAINES GERMÉES d'après les comptages successifs (jours)								FACULTÉ germinative	VALEUR culturale
			1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80		
		°/o									°/o	°/o
1900	43	»	0,3	3	4	6	»	»	»	»	13,3	»
1901	44	»	2	3	3	8	»	4	4	2	26	»
	45	»	»	6,7	»	3,3	»	1	1,7	2,3	15	»
	74	92,54	»	17	11,6	21,3	5	»	»	»	39,6	36,74
	88	95,73	2,7	40,6	22	13	»	»	»	»	66,6	63,76
1902	9	»	»	2,5	»	6	0,5	»	»	»	9	»
	70	92,78	»	12,3	13	37	»	3	3,3	»	45,3	44,3

Du tableau qui précède, on peut déduire que la germination est à

peu près terminée au bout de quarante jours, mais qu'il continue à germer jusqu'au soixante-dixième jour environ une proportion de semences qui est loin d'être négligeable.

Enfin M. Rafn, de Copenhague, donne les chiffres suivants (1900 et 1903) :

	DURÉE de l'essai en jours	PURETÉ	GERMINATION	GRAINES frais non germés à la fin de l'essai	VALEUR culturale Maximum	VALEUR culturale Minimum
		°/o	°/o	°/o		
P. strobus. Tiroler Prov..	44	91,87	31,98	27,52	86,44	63,80
— Deutscher Prov.	42	98,50	33	40,84	86,40	52,40
— Americanischer Prov.. .	37	95	47,77	30,47	93,70	62,78
Expériences 1902-1903 :					Valeur culturale	
P. strobus	156	91,50	63	0,50	57,60	
—	182	95	64	0	60,80	

La marche de la germination ainsi constatée est fort lente chez le pin Weymouth.

Tenant compte de ce fait que dans la série d'essais la semence se trouve placée dans des conditions très favorables de température et d'humidité, M. Pierret en conclut qu'il est presque inutile de semer en pépinière au mois d'avril des graines de cette essence, sans leur avoir fait subir une préparation préalable ; il conseille à cet égard le procédé suivant : « Aussitôt que l'on est en possession des graines de pin Weymouth (en décembre au plus tard, car la dissémination a lieu de bonne heure, en automne), on les humecte et on les mélange par moitié avec du sable légèrement humide très pur, c'est-à-dire exempt de terreau et de substances organiques (le sable de rivière est excellent pour cet usage). On brasse le tout et on dépose le mélange dans une caisse en bois ou dans un pot à fleurs, suivant le volume. Le récipient de stratification est laissé à l'air libre près d'un mur lui offrant une légère protection. Les graines restent ainsi pendant trois mois, subissant une préparation lente et continue. On les visite souvent et au besoin on entretient l'humidité par des arrosages. Aussitôt qu'après les premières chaleurs quelques indices de germination se manifestent, on exécute le semis, et dès lors la levée se pro-

duit régulièrement et rapidement. » On voit, ajoute M. Pierret, que cette préparation antérieure au semis ne fait que rétablir en quelque sorte ce qui se passe dans la nature, puisque les graines de pin Weymouth se disséminent de très bonne heure et restent par conséquent sur le sol, soumises pendant tout l'hiver à l'influence de l'humidité (1).

Il serait intéressant de pouvoir citer des essais de germination effectués à l'étuve sur des semences (pin Weymouth, sapin, etc.) ayant subi cette préparation préalable et de comparer ces résultats avec ceux que donneraient les mêmes semences conservées dans les conditions ordinaires et non préparées au semis. Malheureusement le temps et le personnel dont nous disposons ne nous ont pas permis d'entreprendre des essais de ce genre.

D'après ce qui précède nous pensons qu'on peut admettre pour le pin Weymouth les données suivantes :

Pureté. — Les semences de pin Weymouth sont facilement séparées par des procédés mécaniques des impuretés qu'elles renferment. Le coefficient de pureté d'une bonne semence de pin Weymouth doit, dans les conditions normales, être supérieur à 90 et même 95 °/₀.

Durée normale de l'essai de germination. Valeur culturale. Énergie germinative. — Nous pensons qu'on peut se contenter de prolonger l'expérience jusqu'à quarante-deux jours, à la condition qu'on aura soin de procéder à l'essai au couteau des graines qui restent sur le germoir à la fin de l'essai, et de mentionner à côté du résultat de germination le nombre des graines dont la section a été reconnue fraîche et saine d'aspect ; une partie de ces graines, dont le nombre est impossible à déterminer dans la circonstance, est encore susceptible de germer plus tard.

La valeur culturale, dans ce cas, est calculée en prenant pour base

1. MM. Transon frères, pépiniéristes à Orléans, stratifient ainsi, non seulement la graine de pin Weymouth, mais encore, aussitôt que possible après la récolte, les semences du charme et du frêne pour obtenir la levée complète dès le premier printemps qui suit la dissémination ; les semences d'orme, d'aune, de bouleau pour leur conserver toute leur fraîcheur jusqu'au moment du semis ; enfin, les semences de toutes les graines résineuses exotiques, particulièrement celles des sapins ; ils obtiennent constamment d'excellents résultats, des semis aussi complets que possible en employant le minimum de semence nécessaire (Pierret).



le pour-cent de germination effectif à quarante-deux jours, sans tenir compte des grains frais, et nous pensons qu'il y a lieu de le mentionner.

Nous adoptons, d'après ce qui précède, comme indication sur l'énergie germinative de la semence de pin Weymouth, le pour-cent des graines germées pendant les quatorze premiers jours de l'essai (on pourrait ici adopter trente jours au lieu de quatorze).

Persistance de la faculté germinative. — Les expériences trop peu nombreuses exécutées jusqu'à ce jour ne nous permettent pas de nous rendre compte de la loi de décroissance dans la vitalité des graines de pin Weymouth avec les années. D'après M. Pierret, le taux de germination des graines essayées a été en moyenne, la première année, de 66 °/₀ ; il descend la seconde année à 33 °/₀, puis à 10 °/₀ la troisième année.

Il est donc probable que la puissance germinative de ces graines décroît assez vite avec les années.

Épicéa

(*Picea excelsa* Link)

Toutes les semences d'épicéa mises en expérience aux Barres ont été prélevées sur des fournitures du commerce. Nous mettrons en parallèle, au sujet de cette semence, quelques résultats déjà acquis.

Pureté. — Des échantillons de provenances très diverses ont donné comme coefficient de pureté les chiffres suivants :

		MOYENNE — °/₀	MAXIMUM — °/₀	MINIMUM — °/₀
Nobbe : station de Tharandt . . .	1876 . . .	97	100	82,17
	1889-1898 .	96,71	97,79	95,80
Schwappach : station d'Eberswalde	1900 . . .	97,2	»	»
	1901 . . .	96,7	»	»
	1902 . . .	96,3	»	»
Station de Zurich	1902-1903 .	96,1	99,5	79,1
Station de Paris.	1888-1903 .	97,97	99,71	96,03
Station des Barres.	1903-1904 .	97,3	100	94
Rafn, à Copenhague	1900-1903 .	98,41	99,40	97,45

On peut admettre que le coefficient de pureté d'une bonne semence d'épicéa doit, dans les conditions normales, être supérieur à 95 °/₀.

Faculté germinative. — Des échantillons de provenances très diverses ont donné comme coefficient de faculté germinative les chiffres suivants :

			MOYENNE °/₀	MAXIMUM °/₀	MINIMUM °/₀
Nobbe : station de Tharandt	1876		45	85	4
	1889-1898	en 7 jours	60,45	71,24	58,25
		en 28 jours	72,76	80,41	60,85
Schwappach : station d'Eberswalde	1900		86,5	»	»
	1901		76	»	»
	1902		83,5	»	»
Station de Zurich	1902-1903		71	98	0
Station de Paris	1888-1903		86	90	82
Station des Barres	1903-1904		87,7	93	85
Copenhague	1900-1903		79,99	91	45,93

On peut admettre que le coefficient de faculté germinative d'une bonne semence d'épicéa doit, dans les conditions normales, être supérieur à 75 et même 80 °/₀.

Valeur culturale. — Des chiffres qui précèdent il résulte que *la valeur culturale d'une bonne semence d'épicéa doit, dans les conditions normales, être supérieure à 70 et même 75 °/₀.*

Marche de la germination. Énergie germinative. — Placée dans les germoirs de la station d'essai de semences à une température de 20° à 25° centigrades, une bonne semence d'épicéa germe d'une façon régulière et rapide.

D'après M. Pierret, la germination commence à se manifester le quatrième jour qui suit la mise en expérience ; pendant les six jours suivants il germe environ les neuf dixièmes du résultat final, et la durée complète de l'expérience est de vingt-cinq jours environ.

Nous avons relevé, à titre d'indication, dans le tableau suivant la marche de la germination de quelques essais.

De ces données il résulte que *la durée totale de l'épreuve peut être fixée à trente jours ;* et nous adopterons comme *mesure de*

l'énergie germinative de la semence d'épicéa le pour-cent de graines germées pendant les dix premiers jours de l'essai.

NUMÉRO du registre			COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
			o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o
			Station d'Eberswalde																	
72	a	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	66	»	8	»	»	5	»	2	»	»	4	»	1	»
	b		»	»	»	»	71	»	6	»	»	8	»	2	»	»	»	»	»	»
	c		»	»	»	»	70	»	8	»	»	8	»	1	»	»	»	»	»	»
			Station des Barres																	
685	a	Buvard	»	»	»	»	64	»	13	»	»	»	2	»	»	2	»	»	»	»
	b		»	»	»	»	66	»	8	»	»	»	2	»	»	1	»	»	»	»
723	a		»	»	»	»	15	»	59	»	»	»	8	»	»	»	»	»	»	0
	b		»	»	»	»	12	»	61	»	»	»	11	»	»	»	»	»	»	1
742	a		»	»	»	»	»	38	»	»	26	»	»	»	»	»	2	»	»	»
	b		»	»	»	»	»	38	»	»	20	»	»	»	»	»	4	»	»	»

NUMÉRO du registre			COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)												FACULTÉ germinative	GRAINS frais
			19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
			o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o		
			Station d'Eberswalde													
72	a	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	87	1
	b		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	87	2
	c		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	87	1
			Station des Barres													
685	a	Buvard	»	»	»	»	»	0	»	»	»	»	»	»	81	»
	b		»	»	»	»	»	4	»	»	»	»	»	»	81	»
723	a		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	82	»
	b		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	85	»
742	a		»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	68	»
	b		»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	64	»

Décroissance de la faculté germinative. — La faculté germinative des semences d'épicéa conservées en magasin décroît rapidement avec les années.

La courbe de décroissance annuelle, d'après M. Pierret, se rap-

proche beaucoup de celles relatives aux graines de pin sylvestre, de pin Laricio noir d'Autriche, etc. Avec des graines germant entre 73 à 77 °/₀ la première année, on trouve une germination de 53 à 62 °/₀ la deuxième année, de 26 à 44 °/₀ la troisième année, etc.

Nous avons tracé pour l'épicéa le graphique qui nous a permis d'établir d'une façon approchée, à l'aide des expériences de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative de cette semence. (Voir tableau général.)

Renseignements généraux. — D'après les essais effectués sur les échantillons reçus aux Barres, un litre de graines désailées d'épicéa pèse en moyenne 0^{kg},534 et il renferme 65 312 graines.

Poids absolu ; nombre de graines au kilogramme :

	POIDS MOYEN de 1 000 graines	NOMBRE de graines au kilogr.
	grammes	
D'après M. Pierret	8,171	122 386
D'après M. Nobbe (1876)	6,883	145 285
— — maximum	8,684	218 588
— — minimum	4,575	115 154
D'après Gayer	8,000	»

M. Rafn donne les résultats suivants (1900) :

	POIDS de 1 000 graines désailées
Picea excelsa Link, Tiroler Prov.	8^{gr},11
— Deutscher Prov.	7 ,95
— Dänischer Prov.	8 ,00
— Schwedischer Prov.	5 ,52
— Norvegischer Prov.	5 ,50
— Finnischer Prov.	5 ,22

D'après ces chiffres, relevés sur des expériences faites avec des échantillons de provenances très diverses, le poids de 1 000 graines d'épicéa a varié de 5^{gr},22 à 8^{gr},171, et les semences les plus légères proviennent des régions les plus septentrionales de l'Europe ; ailleurs elles proviennent sans doute aussi des régions les plus élevées, ou encore, comme nous l'avons déjà constaté chez le pin sylvestre, des régions où la race s'est abâtardie en présence de conditions défavo-

rables de végétation et de sol. Nous pensons qu'il serait intéressant et sans doute fort utile d'étudier de très près la caractéristique des semences à cet égard.

Mélèze

(*Larix Europæa* D. C.)

Pureté. — Le nettoyage mécanique de la semence de mélèze est difficile, ce qui tient à la nature des impuretés qui se trouvent mélangées naturellement à la graine. Il est en effet d'un usage courant de désarticuler les cônes de mélèze à l'aide de machines qui brisent l'écaille et en détachent l'onglet; cet onglet fortement lignifié se trouve réduit par la manipulation mécanique aux mêmes dimensions qu'une graine; il en a presque la même densité, de sorte que ni le passage aux cribles, ni des vannages effectués en présence de ventilateurs, ne peuvent arriver à séparer mécaniquement la véritable graine de ses impuretés.

Seules les semences récoltées par des procédés spéciaux (à l'aide d'un gaulage des branches de mélèze pour faire tomber les semences sans détacher les cônes, ou encore la récolte directe des semences de mélèze accumulées sur la neige dans des couloirs où elles sont transportées par le vent) peuvent présenter une faible quantité d'impuretés.

Le coefficient de pureté normal de la semence de mélèze se ressent de cet état de choses; jamais il n'atteint dans les fournitures du commerce le chiffre de 99 que nous avons constaté en 1904 dans un échantillon de mélèze envoyé par la sécherie forestière d'Embrun, et il est rare qu'il atteigne même le chiffre de 93,6 constaté en 1904 dans une fourniture du commerce faite à l'administration des eaux et forêts.

Nous avons relevé à cet égard quelques résultats obtenus sur des échantillons de provenances très diverses :

		Coefficient de pureté		
		Moyenne	Maximum	Minimum
		%	%	%
Station de Tharandt, d'après Nobbe	1876	83,22	93,50	72,17
Station d'Eberswalde, d'après Schwappach	1900	84,3	»	»
	1901	89	»	»
	1902	81,9	»	»
Station de Zurich	1902-1903	83,3	91,5	67,4
Station des Barres	1903-1904	88,22	99	79
Station de Copenhague, d'après Rafn.	1900-1903	82,56	92	71,6

On peut admettre que le coefficient de pureté d'une bonne semence de mélèze doit, dans les conditions normales, être supérieur à 80 et même 85 °/₀.

Faculté germinative. — Les semences de mélèze renferment en grande proportion des semences vaines qu'il est très difficile de séparer des bonnes graines par un passage au tarare ou à l'aide de vannages mécaniques ; on peut expliquer la proportion excessive des graines vaines qui existent dans cette semence par le mode d'extraction qui se fait en désarticulant mécaniquement les cônes, et aussi par la petitesse des cônes de mélèze ; cette dernière circonstance modifie en effet singulièrement et dans un sens défavorable la proportion entre les semences de bonne qualité de la partie moyenne du cône et les graines mal conformées et généralement vaines qui proviennent de la base et de l'extrémité de ces cônes.

Nous avons relevé à cet égard quelques résultats obtenus sur des échantillons de provenances très diverses :

		FACULTÉ GERMINATIVE		
		Moyenne	Maximum	Minimum
		°/₀	°/₀	°/₀
Station de Tharandt, d'après Nobbe .	1876. . .	11	22	0 [1]
Station d'Eberswalde, d'après Schwappach.		42,16	51	33
Station de Zurich.	1902-1903	34	56	0
Station des Barres	1903-1904	46,8	64,5	31
Station de Copenhague, d'après Rafn .	1900-1903	51,09	60	46,55

On peut admettre que le coefficient de faculté germinative d'une bonne semence de mélèze doit, dans les conditions normales, être supérieur à 45 et même à 50 °/₀.

Valeur culturale. — D'après les chiffres précédents nous admettons que *le coefficient de valeur culturale d'une bonne semence*

1. C'est sur de pareils chiffres obtenus en contrôlant des échantillons prélevés sur des semences livrées par le commerce d'alors, que M. le professeur Nobbe a basé sa longue campagne en faveur de la création des stations d'analyse et de contrôle des semences. Les autres pays n'ont fait ensuite qu'imiter cet exemple.



de mélèze peut, dans les conditions normales, être supérieur à 40 %.

Nous remarquerons qu'en ce qui concerne la semence de mélèze, la prise en considération de la pureté et de la faculté germinative, autrement dit la prise en considération de la valeur culturale, devient d'une très grande importance, en raison même de la proportion très forte d'impuretés d'une part et de semences incapables de germer, d'autre part, que renferme normalement une bonne semence.

La connaissance de la qualité exacte de la semence de mélèze, connaissance qui ne peut être établie que par les stations de contrôle, est indispensable :

1° Pour déterminer la véritable valeur marchande de la semence ;

2° Pour pouvoir régler en connaissance de cause la densité d'un semis.

Marche de la germination. Énergie germinative. — Placée dans les germoirs de la station d'essai de semences, à une température de 20° à 25° centigrades, une bonne semence de mélèze germe d'une façon régulière et assez rapide.

D'après M. Pierret, la germination commence environ vers le cinquième jour après la mise en essai et il est nécessaire d'attendre encore au moins dix jours avant de se prononcer sur la valeur finale de l'échantillon. La somme des comptages effectués ainsi jusqu'au quinzième jour après la mise en expérience donne environ les 85 centièmes de la levée totale. La durée complète de l'expérience ne se prolonge pas beaucoup et le plus souvent elle est de vingt-neuf à trente-deux jours.

Nous avons relevé, à titre d'indication, dans le tableau de la page suivante, la marche de la germination de quelques essais.

Nous sommes d'avis, d'après ces chiffres, que *l'essai de germination de la semence de mélèze peut être arrêté à trente jours*, et nous admettons comme *mesure de l'énergie germinative des graines de mélèze le pour-cent des graines germées pendant les dix premiers jours de l'essai.*

NUMÉRO du registre			COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
			°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o
			Station d'Eberswalde																
71	a	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	4	»	13	»	»	26	»	3	»	»	»	»	»
71	b	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	4	»	8	»	»	26	»	7	»	3	»	»	1
71	c	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	4	»	10	»	»	24	»	1	»	3	»	»	3
			Station des Barres																
681		Buvard	»	»	»	»	30	»	8	»	»	1	»	»	»	1	»	»	»
683		Buvard	»	»	»	»	»	32	»	10	»	»	2	»	»	»	1	»	»
686		Buvard	»	»	»	»	»	»	13	»	»	16	»	»	»	»	3	»	»
687		Buvard	»	»	»	»	»	29	»	»	5	»	1	»	»	»	3	»	»
689		Buvard	»	»	»	»	»	»	»	30	»	17	»	»	4	»	»	»	2
717		Buvard	»	»	»	»	»	»	21	»	»	21	»	4	»	»	»	2	»
744		Buvard	»	»	»	»	»	31	»	»	13	»	»	»	»	»	8	»	»

NUMÉRO du registre			COMPTAGES SUCCESSIFS (Durée de l'expérience en jours)										FACULTÉ germinative	GRAINS frais
			18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		
			°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o	°/o		
			Station d'Eberswalde											
71	a	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	46	1
71	b	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	49	»
71	c	Germinateur Cieslar	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	45	»
			Station des Barres											
681		Buvard	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	41	»
683		Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	45	»
686		Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	32	»
687		Buvard	»	»	3	»	»	»	»	1	»	»	42	»
689		Buvard	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	54	»
717		Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	48	»
744		Buvard	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	52	»

Décroissance de la faculté germinative. — La faculté germinative des semences de mélèze conservées en magasin décroît très rapidement avec les années.

D'après M. Pierret, la semence qui germe entre 39 et 44 °/o la première année ne germe plus qu'à environ 16 ou 18 °/o la deuxième année, puis à 5 ou 8 °/o la troisième année.

Nous avons tracé pour le mélèze le graphique qui nous a permis d'établir d'une façon approchée, à l'aide des essais de M. Pierret, la ligne de décroissance moyenne de la faculté germinative des semences de cette essence (voir tableau général).

Renseignements généraux. — Suivant les provenances et les diverses causes qui ont influé sur le développement des semences, le poids de 1 000 graines de mélèze a varié de 8 grammes (maximum) à 4gr,77 (minimum). Le poids maximum de 8 grammes a été donné par le mélèze envoyé à la station des Barres en 1904 par la sécherie d'Embrun (Hautes-Alpes); cette semence a donné aux essais 99 °/o de pureté et 50,3 °/o de faculté germinative.

Les chiffres du poids absolu donné par les différents auteurs sont les suivants :

Poids de 1 000 graines de mélèze

		Moyenne	Maximum	Minimum
		—	—	—
D'après Pierret. .	1873-1889 (échantillons reçus aux Barres)	5,898	»	»
Station des Barres.	1903-1904	6,29	8	5
D'après Nobbe . .	Tharandt, 1876	5,27	5,79	4,77
D'après Gayer.		5,5	»	»
D'après Rafn. . .	Copenhague, 1900-1904.	5,81	6,06	5,37

Notons enfin que d'après les échantillons reçus aux Barres, un kilogramme de semences renferme 169 539 graines.

Sapin pectiné

(*Abies pectinata* D. C.)

Toutes les semences du genre sapin sont très délicates, sans doute à cause de la grande quantité d'essence de térébenthine qu'elles renferment; elles se conservent très difficilement en magasin, même jusqu'au printemps qui suit leur récolte, et supportent difficilement les emballages et les transports.

M. Pierret conseille, dans le cas où les graines de sapin doivent être transportées et être conservées tout l'hiver, de retarder la récolte

le plus possible, de façon à n'avoir que des cônes bien formés et bien mûrs ; de retarder le plus possible la désarticulation des cônes, et enfin de stratifier les graines nues dans du sable frais ou dans de la balle d'avoine, comme nous l'avons indiqué précédemment.

L'expérience, en effet, paraît prouver que les semences de sapin pour lesquelles on n'a pas pris ces précautions indispensables ont perdu dès la fin de l'hiver sinon toute, tout au moins la plus grande partie de leur valeur.

Nous n'avons pas eu l'occasion de mettre en germination, aux Barres, de la semence de sapin pectiné ; une seule fourniture du commerce entrée dans les magasins des Barres a dû être refusée.

La moyenne d'environ quatre-vingts essais de graine de sapin envoyée à Zurich est la suivante :

Pureté.	87,9
Faculté germinative	20
Valeur culturale	16,6

A Eberswalde, la moyenne de quelques essais donne pour la faculté germinative trouvée 23,8 avec maximum de 31,7 et minimum de 5 °/₀.

Des considérations qui précèdent il résulte que lorsqu'on achète au commerce une semence de sapin, il est fort utile, avant de l'utiliser, d'en contrôler la qualité.

D'après M. Pierret, la durée de l'essai de germination de la graine de sapin pectiné serait d'un mois et demi à deux mois, et la germination commencerait au bout de douze à vingt jours.

Nous pensons que pour les services de contrôle, *il suffit de prolonger l'expérience de germination jusqu'à quarante-deux jours,* à la condition qu'on aura soin de procéder à l'essai au couteau des graines qui restent dans le germoir à la fin de l'essai et de mentionner à côté du résultat de germination le nombre des graines dont la section a été reconnue fraîche et saine d'aspect ; une partie de ces graines, dont le nombre est impossible à déterminer dans la circonstance, est encore susceptible de germer plus tard.

M. Pierret donne au sujet de la semence du sapin pectiné les renseignements suivants :

Poids du litre de graines ailées	0kg,256
Nombre de graines au litre.	5 611
Poids moyen de 1 000 graines ailées	0kg,256
Nombre de graines au kilogramme	22 013

ESSENCES LIGNEUSES EXOTIQUES

Un vaste champ d'expérimentation s'offre en France à l'activité des reboiseurs en matière d'introduction d'essences exotiques, et notre pays paraît privilégié à cet égard en raison de la variété de climat, d'altitude et de sol qu'il présente dans les diverses régions.

Des arboretums nationaux ou privés, ainsi que des places d'essai disséminées sur divers points de notre territoire commencent à fournir des résultats intéressants, et l'époque paraît proche où nous pourrons dresser en France, comme on l'a déjà fait en Allemagne, un plan général de culture, précisant par régions les espèces ligneuses exotiques aptes à être introduites dans nos boisements et méritant de l'être.

Il résulte de cette situation que le commerce des semences d'arbres forestiers exotiques, déjà créé en France, est appelé à y prendre une certaine extension.

Pour effectuer avec ces essences des essais ou des travaux de reboisement, il paraît important de pouvoir se procurer un premier matériel de semences de confiance et de germination énergique. « Maint essai d'acclimatation, dit le professeur Nobbe[1] s'effectue d'une façon pénible ou échoue complètement pour la seule raison qu'on a employé des graines de mauvaise qualité qui n'ont rien donné, ou qui n'ont fourni que des plants faibles et sans résistance, alors même que l'espèce était en elle-même bien appropriée au climat allemand. C'est par des erreurs de ce genre que l'opinion s'égare, que le progrès s'arrête, et qu'on attribue l'échec obtenu à une mau-

1. « Ueber den forstlichen Samenhandel », vom Prof. Dr Nobbe (*Tharander forstliches Jahrbuch*, 1899).

vaise faculté d'acclimatation; alors qu'il ne provient exclusivement que d'un lot de graines défectueuses. »

De telles erreurs, évidemment fréquentes aussi en France, proviennent des conditions défectueuses dans lesquelles se fait actuellement le commerce des semences exotiques. La plupart des négociants, même les plus sérieux, se bornent à vérifier que la graine paraît satisfaisante à l'aspect extérieur; ils refusent de donner à leur clientèle, même en majorant leurs prix, une garantie quelconque sur la semence qu'ils livrent. Le professeur Nobbe s'élève avec force en Allemagne contre de tels procédés qui consistent à livrer à l'acheteur à des prix élevés une semence souvent absolument inerte, et cela sans accepter aucun contrôle.

La question, sans aucun doute, est délicate, car le négociant lui-même a généralement les plus grandes difficultés pour se procurer les semences dans leur pays d'origine; les acceptant telles qu'on les lui envoie, il veut trouver auprès de sa clientèle la rémunération des sacrifices d'argent qu'il a consentis pour se procurer la semence. De là la répugnance qu'il manifeste d'instinct contre tout contrôle. Mais, d'autre part, la semence doit être un être vivant susceptible de se développer; l'acheteur, qui paye souvent fort cher cet être vivant catalogué dans les prix-courants des meilleures maisons, n'a-t-il pas aussi le droit d'exiger une garantie de vie pour la graine qu'il achète? — Une semence incapable de germer est une marchandise qui n'a plus aucune valeur, quelles que soient les dépenses qu'a pu faire l'intermédiaire pour se la procurer, et il paraît impossible que l'acheteur consente longtemps à l'acquérir dans ces conditions.

« Il est indispensable, dit encore le professeur Nobbe, qu'une manière de procéder plus logique s'introduise dans le commerce allemand de semences exotiques, et cela le devient d'autant plus qu'à la suite des longs essais qui ont été exécutés en Allemagne, un certain nombre de ces semences deviennent l'objet de transactions importantes. »

Cette situation que nous venons d'exposer tient à ce que la qualité des semences exotiques a été très peu étudiée jusqu'à ce jour, qu'on ne connaît qu'imparfaitement les conditions de vitalité de ces semences, et que faute d'expériences précises, il est presque impossible de pouvoir dire aujourd'hui à un négociant quelles sont, pour une

espèce déterminée d'origine définie, les conditions de pureté, de faculté germinative et par suite de valeur culturale auxquelles doit satisfaire la semence rendue et vendue en France.

Il semble que c'est aux stations d'analyse et de contrôle des semences qu'il appartient tout d'abord de définir ces premières conditions : « Nous demandons à ces stations, dit un des négociants en semences forestières les plus importants de Danemark, de nous définir dans les conditions où nous pouvons les livrer, ce qui est bonne et ce qui est mauvaise semence (1). » — Telle est la première question à résoudre.

Ce travail fait, il sera possible à l'acheteur de se montrer plus exigeant, et le commerce, grâce à la concurrence que se font les principales maisons sérieuses, trouvera sûrement le moyen de satisfaire à ces exigences.

Déjà d'ailleurs nous voyons un des fournisseurs de graines les plus influents de Danemark chercher à s'affranchir de cette routine, et à donner au marché des graines exotiques des bases plus précises. Ayant constaté que l'organisation actuelle et les moyens d'expérimentation des stations d'essai de semence leur permettent de faire des recherches sûres et précises dans un temps relativement court, il a demandé à ces stations (notamment à la station de Copenhague et à celle de Zürich) d'être l'auxiliaire de son commerce. Depuis 1888 il analyse ou fait analyser les graines de diverses provenances qu'il reçoit.

Ces expériences lui ont prouvé par exemple qu'en toute saison arrivent du Japon des quantités considérables de semences de mélèze (*Larix leptolepis*) qui, bien qu'elles soient payées à un prix très élevé, se montrent dès leur arrivée, à l'essai de germination, complètement sans valeur. « C'est une plaisanterie aussi bien pour nous que pour notre clientèle, dit en propres termes M. Rafn (1), que de payer à raison de 20 marks au kilogramme des sacs de semences uniquement bonnes à être jetées au tas de compost. »

---

1. « Weiteres über Samenuntersuchungen und den forstlichen Samenhandel », von Johannes Rafn (*Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft*, n° 10, 1901).

D'après les essais qu'a fait effectuer en 1900-1901 ce négociant à la station de Zurich, huit échantillons de mélèze japonais ont donné 12, 9, 2, 2, 1, 2, 27 et 11 °/₀ de faculté germinative. Une seule de ces fournitures, celle qui donnait 27 °/₀ de faculté germinative, pouvait être mise en vente par un commerçant sérieux.

La même année, le *Chamæcyparis obtusa* reçu à Copenhague s'est montré absolument sans valeur et n'a atteint en trente jours que 1 °/₀ de germination tandis qu'une semence reçue l'année précédente et donnant à ce moment 19,35 °/₀ germait encore à 7 °/₀ au bout d'un an et était par suite encore meilleure que la prétendue « nouvelle semence » envoyée par le Japon.

Pour le *Chamæcyparis pisifera,* une semence arrivée directement du Japon à Copenhague pendant l'automne 1899 germait à ce moment à 10,67 °/₀; mise de nouveau à l'essai au printemps suivant elle donnait 0 à l'essai de germination.

M. Rafn déduit d'un grand nombre d'expériences du même genre que si les semences qu'il reçoit directement du Japon germent seulement à 1 °/₀, c'est que son fournisseur japonais lui expédie une semence restée en magasin depuis plusieurs années avant d'être envoyée en Europe, et encore que cette semence, ayant été expédiée dans de mauvaises conditions, est restée longtemps en souffrance dans quelque port chinois. M. Rafn en conclut que le commerce ne peut se prêter à de tels procédés parce que l'acheteur ne peut accepter de payer une semence aussi inutilisable.

Si nous ne considérons plus des semences défectueuses, de valeur nulle, qu'une maison sérieuse de commerce ne doit présenter à aucun prix, mais si nous nous occupons des semences récoltées dans des conditions normales et expédiées avec les soins qu'elles exigent pour être conservées en bon état, le contrôle des stations d'essai de semences présente un autre intérêt. Il permet, comme nous l'avons précédemment démontré, de donner à la semence sa véritable valeur marchande ; il permet par suite à l'acheteur de comparer la valeur argent de la marchandise au degré d'utilité qu'il peut en tirer et de donner la préférence à la maison qui a su trouver le moyen de lui procurer dans les meilleures conditions une semence utile.

Cette considération, aussi intéressante pour le négociant en semences forestières que pour l'acheteur, nous porte à croire qu'un grand nombre de maisons sérieuses sauront se conformer aux exigences bien fondées de la situation actuelle, et qu'elles sauront trouver le moyen de se procurer, de faire voyager, de nettoyer et de présenter la semence brute quelle qu'elle soit, en vue de son utilisation pratique; de lui donner par conséquent avec intelligence et habileté une valeur marchande aussi élevée que possible.

Une telle transformation du commerce des semences exotiques est nécessaire puisqu'elle a pour but d'arriver à consentir à la meilleure marchandise le prix (quel qu'il soit [1]) qui correspond à sa valeur; cette transformation ne pourra se produire qu'avec le concours et le contrôle des stations d'essai de semences.

Nous donnons dans le tableau suivant quelques chiffres, obtenus d'une part à Copenhague par M. J. Rafn, et d'autre part dans nos essais effectués à la station d'expériences des Barres (les essais marqués d'un astérisque ont été exécutés aux Barres). Les résultats acquis jusqu'à ce jour sont trop peu nombreux pour que nous en déduisions autre chose qu'une simple indication sur la qualité des échantillons essayés.

Nous ne commenterons pas ces chiffres, les essais ayant besoin d'être entrepris sur un bien plus grand nombre d'échantillons, et nous nous contenterons d'y prendre deux exemples :

1° La semence d'*Abies nobilis* achetée à raison de 37 fr. le kilogramme valait autant que du sable et celle d'*Abies amabilis* achetée à raison de 390 fr. le kilogramme ne valait pas beaucoup plus que la précédente;

2° Sur deux fournitures de graine de *Pseudotsuga Douglasii* faites par le commerce, la plus chère des deux (31 fr. le kilogramme) valait à peu près moitié moins que l'autre, payée seulement à raison de 29 fr. le kilogramme.

---

1. On peut consentir volontiers à payer même fort cher une semence récoltée et transportée dans des conditions très onéreuses, si elle est susceptible de germer. Mais personne ne consentira longtemps à acheter en la payant un prix élevé une matière inerte, dès qu'on sera certain qu'il existe un moyen facile de vérifier qu'elle est sans valeur.



ESPÈCES DE GRAINES	POIDS de 1 000 graines	POUR-CENT de germination au bout de 10 jours	de 15 jours	de 30 jours	GRAINS frais	ESSAI de germination dans une véranda non chauffée	VALEUR culturale	OBSERVATIONS
	Grammes							
Larix leptolepis Murr.	3,76	1,17	»	3,50	»	1	2,31	Semence du Japon (1900).
— *siberica* Ledb.	11,55	6	20,30	»	»	»	»	Semence du commerce.
— —	10,20	»	»	21	»	»	»	Idem.
— —	10,50	»	»	30	»	»	»	Idem.
Libocedrus decurrens Torr.	22,70	7	»	14,50	»	24	11,60	»
— —	»	»	8	32	»	»	»	»
Picea ajanensis Fisch	»	»	»	2	»	9	»	Semence du Japon (1899).
— *alba* L. K.	3,50	80,67	90,33	93	»	86	91,14	Semence danoise.
— *alba* L. K*	4	64	67	70	»	»	»	Semence du commerce.
— *Engelmanni* Engelm.	1,21	91,67	93,17	95	»	88	94,43	Semence du Colorado.
— —*	3,5	56	76	78,7	»	»	»	Semence du commerce.
— *nigra* L. K.	»	21	72	80	»	87	»	»
— *polita* Carr	»	»	10	22	»	21	»	Semence du Japon (1899).
— *sitchensis* Trautw.	1,97	14	45	53,5	»	46	45,21	»
— —*	2,5	10	15	27	»	»	»	Semence du commerce.
— *pungens**	3,5	65	»	75,7	»	»	»	Idem.
Pinus Banksiana Lamb.	3,51	47	63	64	»	70	»	»
— *densiflora* S. et Z.	»	66	81	86	»	94	»	Semence du Japon (1899).
— *excelsa* Wall.	52,90	18	24,66	40	»	44	38	»
— *insignis* Dougl	»	14	38	52	»	48	»	»
— *monticola* Dougl. (en 200 jours)	»	»	»	33	»	23	»	»
— *parviflora* S. et Z. (en 270 jours)	144	»	»	40	»	»	39,76	»
— *ponderosa scopulorum* Engelm.	29,2	26,83	39	52,17	»	56	»	Semence du Colorado.
— *ponderosa* Dougl.*	80,83	»	»	56,6	10	»	»	Semence de l'arboretum national des Barres (1903).
— *rigida* Mill.	7,61	62	85,66	92	»	90	90,70	»
— —*	6	41,5	»	»	»	»	»	Semence de l'arboretum national des Barres (1904).
— *strobus* L.	18,10	»	2,66	20,50	»	98	»	Semence américaine (1900).
— *aristata**	20	63	»	[illegible]	»	»	»	Graine achetée au commerce à raison de 30 fr. le kilogramme.

— balfoureana *	»	53,5	96	»	1	»	»	... 59 fr. le kilogramme.
— balfoureana aristata *	»	»	18	»	0	»	»	Semence achetée en Amérique à raison de 59 fr. le kilogramme.
— flexilis *	»	»	»	36	56	»	»	Semence achetée en Amérique à raison de 83 fr. le kilogramme.
— murrayana *	»	»	»	4,5	89	»	»	Semence achetée en Amérique à raison de 126 fr. le kilogramme.
Pseudotsuga Douglasii Carr	11,80	82,50	92,66	94	»	90	87,42	Semence du Colorado.
— —	11,60	2,33	7,50	36	»	67	»	Semence de l'Orégon.
— —*	8,3	13	»	45	»	»	»	Semence du commerce achetée à raison de 29 fr. le kilogramme.
— —*	11,00	36	»	78	»	»	»	Semence du commerce.
— —*	»	2	9	24	»	»	»	Semence achetée en Amérique à raison de 31 fr. le kilogramme.
Abies balsamea Mill.	9,31	20	33,66	50	»	45	47,50	Semence danoise.
— cephalonica L. K	»	»	»	10	»	44	»	»
— concolor Lindl	31,21	34,66	65,33	69	»	68	68,31	Semence du Colorado.
— grandis Lindl.	11,50	26,50	35,5	53,67	»	»	52,65	»
— nobilis Lindl	»	»	6	14	»	6	»	Semence écossaise.
— — glauca Hort.	40,50	5	»	43	»	22	41,28	Idem.
— nobilis * Lindl	25	0	0	0	0	»	0	Semence achetée au commerce à raison de 37 fr. le kilogramme.
— nordmanniana L. K.	64	»	»	9,5	»	28	8,12	»
— —*	62,3	1	2	4	2	»	»	Semence du commerce.
— pinsapo Boiss.	46,70	5	12,33	35	»	32,58	»	»
— —*	51	»	31	34	»	»	»	Graine récoltée aux Barres (1903).
— siberica Ledb.	9,73	18	30,50	»	»	24	27,60	»
— subalpina Engelm.	11,80	2,33	6,66	10,50	»	»	9,82	»
— spectabilis *	»	»	»	0	0	»	»	»
— amabilis * Forbes	»	»	»	7	2	»	7	Graine achetée en Amérique à raison de 390 fr. le kilogramme.
— magnifica chastensis *	»	»	14	14	0	»	14	Graine achetée en Amérique à raison de 83 fr. le kilogramme.
— arizonica argentea *	»	»	11	11	0	»	11	Semence achetée en Amérique à raison de 420 fr. le kilogramme.
Chamæcyparis Lawsoniana Parl.	2,40	42,67	»	59,50	»	43	55,93	Semence danoise.
— obtusa S. et Z.	»	»	6	7	»	7	»	Semence du Japon (1899).
— —	»	»	1	»	»	0	»	Semence du Japon (1900).
— pisifera S. et Z.	»	»	0	»	»	0	»	Semence du Japon (1899).
Keteleeria du Yunnan *	84,00	8	24	27	0	»	»	Semence d'origine.

Dans ces conditions les transactions relatives aux semences exotiques doivent être établies sur d'autres bases plus sérieuses.

Le professeur Nobbe a demandé à la Société dendrologique allemande, en 1899, s'il ne serait pas possible d'établir par son intermédiaire des relations directes dans les pays d'origine d'espèces exotiques déjà connues, afin d'assurer la livraison de bonnes semences, laissant entendre qu'une telle manière de procéder serait susceptible de prendre dans l'avenir des proportions avec lesquelles le commerce des graines aurait à compter.

Nous pensons que de telles mesures ne deviendront pas nécessaires, parce qu'un honorable marchand de graines est un intermédiaire désigné entre l'acheteur et le producteur; qu'il a le moyen, mieux que tout autre, d'établir ces relations avec les pays d'origine, et qu'il est obligé, s'il veut conserver de bonnes relations avec sa clientèle, de ne pas livrer des semences qu'on trouvera stériles au premier essai de germination. Par le fait de son commerce, c'est à lui qu'il appartient de prendre les mesures nécessaires pour apporter sur le marché des produits ayant une valeur marchande aussi élevée que possible, et par suite de justifier, dans son propre intérêt, la véritable valeur de cette marchandise.

Un petit nombre de maisons de commerce qui disposent de correspondants et de relations dans toutes les parties du monde, se décident aujourd'hui à présenter dans leurs catalogues les principales essences forestières exotiques; quelques-unes cherchent à régler leurs achats dans les pays d'origine sur la valeur culturale des semences elles-mêmes. Si les autres maisons sérieuses veulent suivre ce bon exemple (et nous pensons qu'elles ne peuvent déjà plus faire autrement pour toutes les semences recommandées dont l'usage se répand de plus en plus), le commerce des semences forestières exotiques sera vite profondément modifié, car les correspondants étrangers seront obligés de n'envoyer que des graines de bonne qualité et de trouver le moyen de faire voyager ces semences dans les conditions les plus favorables.

Il y a environ vingt-cinq ans, les choses se sont passées ainsi pour les semences agricoles. Malgré une opposition systématique, les fournisseurs de graines n'ont pu résister à cette loi du progrès parce que

les stations d'essai de semences leur ont opposé des résultats d'expériences précises exécutées sur des fournitures de qualité déplorable. La conséquence de cet effort a été d'amener et une amélioration sensible de la valeur réelle des graines agricoles, et un abaissement du prix de ces graines. Il appartient aux stations d'analyse et de contrôle de semences forestières d'obtenir, par leur influence auprès des intéressés, le même résultat en ce qui concerne le commerce des graines forestières.

(*A suivre.*)

Le Directeur-Gérant : L. Grandeau.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

DE LA DEUXIÈME SÉRIE

(1894-1905)

TABLE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS

DE LA DEUXIÈME SÉRIE

(1894-1905)

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

DE LA DEUXIÈME SÉRIE

(1894-1905)

Ire ANNÉE (1894-1895)

TOME Ier

TOME II

Congrès international d'agriculture de Bruxelles

2e ANNÉE (1896)

TOME Ier

TOME II

3e ANNÉE (1897)

TOME Ier

TOME II

4e ANNÉE (1898)

TOME Ier

TOME II

5e ANNÉE (1899)

TOME Ier

TOME II

6e ANNÉE (1900)

TOME Ier

TOME II

7e ANNÉE (1901)

TOME Ier

TOME II

8e ANNÉE (1902-1903)

TOME Ier

TOME II

9[e] ANNÉE (1904)

TOME I[er]

TOME II

10e ANNÉE (1905)

TOME Ier

TOME II

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DEUXIÈME (1905)

Nancy. — Impr. Berger-Levrault et Cie

